

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ «БЕЛЭНЕРГО»
УО «МИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
КОЛЛЕДЖ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор УО «МГЭК»
_____ А.А Новиков
« 29 » августа 2025г.

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

**Методические указания по выполнению домашней контрольной работе для
учащихся заочной формы получения образования**

**5-04-0712-04 «Техническая эксплуатация оборудования
электрических станций»**
(шифр и название специальности)

Разработал преподаватель _____ Н.Н. Ядловский
(подпись) (ФИО)

Рассмотрено и одобрено на заседании цикловой комиссии
специальных электротехнических предметов

(наименование цикловой комиссии)

Протокол № _____ от _____ г.

Председатель цикловой комиссии _____ Н.Н.Ядловский
(подпись) (ФИО)

Согласовано

Методист колледжа

_____ О.В. Какорина
(подпись) (ФИО)

Заведующий заочным отделением

_____ А.А. Куцов
(подпись) (ФИО)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Методические рекомендации по изучению разделов тем программы	4
Варианты задач и методические указания по выполнению контрольного задания №1	23
Варианты задач и методические указания по выполнению контрольного задания №2	33
Литература	55

ВВЕДЕНИЕ

Учебный предмет «*Релейной защиты и автоматики*» ставит своей целью дать будущему технику-энергетику необходимые теоретические сведения и практические навыки для выбора устройств релейной защиты и автоматики, выполнения расчетов параметров схем релейной защиты; для правильной, эффективной и безопасной их эксплуатации. устройств релейной защиты и автоматики.

В результате изучения предмета учащиеся должны:

знать на уровне представления:

- важнейшие направления развития, достижения энергетики в области релейной защиты и автоматики;
- основные положения релейной защиты и автоматизации электрических процессов;

знать на уровне понимания:

- назначение и схемы управления, контроля и сигнализации на электрических станциях и подстанциях;
- устройство, принцип действия, назначение, характеристики, область применения элементов релейной защиты и автоматики;
- принципы построения типовых устройств, применяемых в релейной защите и автоматике;
- принципы построения, структурные схемы и основные характеристики устройств релейной защиты и автоматики энергосистем, электрооборудования электростанций и подстанций;

уметь:

- читать несложные принципиальные электрические и электронные схемы,
- монтировать несложные цепи и установки, управлять их работой, обеспечивать эффективную и безопасную работу обслуживающего персонала.
- анализировать работу систем релейной защиты и автоматики;
- производить расчет параметров схем релейной защиты;
- рассчитывать и проектировать схемы устройств релейной защиты и автоматики управления и сигнализации в соответствии с техническими условиями;
- производить обслуживание устройств релейной защиты и автоматики.

Учащиеся заочного отделения изучают курс самостоятельно и до вызова на сессию ознакамливаются по предлагаемой методике с контрольным заданием. Во время лабораторно-экзаменационной сессии учащиеся решают задачи из своего варианта по номеру варианта, успешное решение которых является этапом выполнения контрольного задания.

При выполнении контрольного задания следует пользоваться общепринятыми буквенными обозначениями основных электрических и магнитных величин, все единицы измерений должны соответствовать международной системе единиц СИ.

Решение должно сопровождаться краткими и четкими пояснениями. Принципиальные электрические схемы и векторные диаграммы необходимо вычерчивать с применением чертежных принадлежностей с соблюдением масштаба и требований ЕСКД «Единая система конструкторской документации».

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ПРОГРАММЫ

ВВЕДЕНИЕ

Значение учебного предмета, его связь с другими изучаемыми учебными предметами. Задачи предмета. Назначение релейной защиты и автоматики (РЗА). Комплексное действие релейной защиты и автоматики. Значение РЗА в обеспечении экономической и безаварийной работы энергетических систем.

Достижения и перспективы развития техники релейной защиты и автоматик

Тема 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ.

Назначение и технико-экономическая необходимость автоматизации управления процессом распределения электроэнергии. Основные виды повреждений и ненормальных режимов в системах электроснабжения. Назначение релейной защиты и автоматики и основные требования, предъявляемые к ним. Основные принципы действия релейной защиты.

Элементы релейной защиты и автоматики. Реле. Классификация реле. Способы включения реле и способы их воздействия на выключатель. Использование полупроводниковых приборов для выполнения реле. Возможности и перспективы программной реализации на микроЭВМ релейной защиты систем электроснабжения.

Условия работы измерительных трансформаторов тока и напряжения и требования к ним в схемах релейной защиты и автоматики.

Оперативный ток. Источники постоянного и переменного оперативного тока и их сравнительная оценка.

Литература Л-1 § 1.1-1.4 ; 2-1-2.3 Л-4 § В.1-В.4, 1.3, 3.1-3.7. 4.2,4.4, 5.1-5.3

Методические указания.

При изучении Настоящего раздела необходимо понимать, что релейная защита в первую очередь должна обеспечивать надежную бесперебойную работу неповрежденной части энергосистемы при возникновении повреждения в каком-либо ее элементе. Именно с этой точки зрения необходимо рассматривать те виды повреждений, на которые должна реагировать релейная защита, и основные требования, предъявляемые в ней. Релейная защита — только часть автоматики. Одна релейная защита не в состоянии обеспечить надежность и бесперебойность электроснабжения. Для достижения этой цели применяются различные типы автоматических устройств.

Уже в начале изучения предмета следует иметь представление об основных типах релейных защит, автоматических и телемеханических системах регулирования, контроля и управления

Необходимо уяснить роль отечественной науки и техники в деле оснащения наших

энергосистем современными устройствами релейной защиты, автоматики и телемеханики.

Вопросы для самопроверки

1. Какие виды повреждений и ненормальных режимов в системе электроснабжения принимаются во внимание при проектировании релейной защиты?
2. Каковы основные принципы действия релейной защиты, в чем они заключаются?
3. Для чего нужен оперативный ток?
4. Назначение релейной защиты и автоматики и основные требования, предъявляемые к ним.
5. Какие устройства автоматики включает комплекс, условно называемый «системной автоматикой»?

Тема 2. ЗАЩИТА ЛИНИЙ ПЛАВКИМИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ И АВТОМАТИЧЕСКИМИ ВОЗДУШНЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ (АВТОМАТАМИ).

Плавкие предохранители и их характеристики. Выбор плавких предохранителей. Разновидности автоматических воздушных выключателей и их характеристика. Выбор автоматов для селективно действующей защиты

Литература Л4-§ 2.1-2.6

Методические указания

Плавкие предохранители, как: самые простые устройства защиты, широко применяются для защиты линий напряжением до 1000 В, они также используются в сетях напряжением до 110 кВ включительно. Предохранитель совмещает одновременно функции выключателя и релейной защиты. Необходимо изучить основные характеристики предохранителя и уметь выбрать предохранитель для защиты линий от токов к. з. и длительной перегрузки.

Основными параметрами предохранителя являются: номинальный ток плавкой вставки, номинальный ток предохранителя, номинальное напряжение предохранителя, предельный ток отключения предохранителя, защитная (времятоковая) характеристика предохранителя. При выборе предохранителя следует исходить из условия его надежной работы в аварийных и нормальных режимах, а плавкая вставка не должна перегорать при кратковременных перегрузках защищаемой линии (объекта). Для селективной работы предохранителей необходимо выбирать плавкие вставки с номинальными токами, отличающимися по шкале, или совмещать защитные характеристики. Требуется учесть при выборе предохранителя условия обеспечения селективности их действия с релейной защитой. Недостатки предохранителя (нестабильность защитной характеристики и др.) ограничивают область его применения.

Автоматы снабжаются специальными устройствами релейной защиты — расцепителями, которые в зависимости от типа автомата выполняются в виде токовой отсечки или максимальной токовой защиты. Выдержка времени осуществляется часовым механизмом, встроенным в расцепитель. При малых токах автомат отключается с вы-

держкой времени, при больших токах — мгновенно. Защитные устройства автомата — расцепители позволяют выполнить токовую защиту без трансформаторов тока и без оперативного тока. По сравнению с предохранителями автоматы имеют более устойчивые защитные характеристики и производят одновременно отключение всех трех фаз защищаемого элемента. Кроме того, они являются аппаратами многократного действия, что позволяет с их помощью выполнять схемы автоматики.

Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение предохранителя и автомата?
2. Как производится выбор плавких предохранителей и автоматов для защиты линий?
3. Какая характеристика плавкого предохранителя и автомата называется защитной?
4. Как обеспечивается селективная работа предохранителей или автоматов в радиальной сети с одним источником питания?
5. Какое назначение имеет механизм свободного расцепления?
6. Как обеспечивается необходимая выдержка времени срабатывания автомата?

Тема 3. ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ

Принцип действия токовой защиты и ее основные органы. Электромагнитные реле тока и напряжения прямого и косвенного действия. Индукционные реле РТ-80. Полупроводниковые реле тока и напряжения. Принципы выполнения микропроцессорных реле. Способы обеспечения селективности токовых защит. Максимальные токовые защиты Токовые отсечки Принцип действия и основные органы максимальной токовой защиты (МТЗ) с независимой характеристикой выдержки времени и с ограниченно зависимой характеристикой выдержки времени на постоянном и переменном оперативном токе Выбор параметров МТЗ. Особенности расчета МТЗ с дешунтированием катушек отключения на переменном оперативном токе. Схемы включения пусковых органов МТЗ. Анализ свойств схем включения и области их применения Условные обозначения контактов реле и элементов схем защиты. Схемы МТЗ на оперативном постоянном и переменном токах и общая оценка МТЗ.

Токовые защиты нулевой последовательности для сетей с большими токами замыкания на землю. Выбор параметров максимальной токовой защиты нулевой последовательности.

Токовая отсечка. Назначение и принцип действия. Выбор тока срабатывания и схемы отсечек. Неселективные отсечки. Отсечки на линиях с двусторонним питанием. Отсечки с выдержкой времени Токовая трехступенчатая защита. Схемы и область использования токовых отсечек и защит со ступенчатой характеристикой выдержки времени.

Литература Л1 § 3.1-3.4 ;Л-4. §§ 6.1-6.10

Методические указания

При КЗ значительно увеличивается ток в линии по сравнению с током нагрузки. Этот признак положен в основу токовых защит: МТЗ и токовой отсечки. Обе защиты прихода в

действие при увеличении тока в фазах линии сверх определенного значения. Основное различие между МТЗ и токовой отсечкой заключается в способе обеспечения селективности. Селективность действия мгновенной токовой отсечки достигается за счет соответствующего выбора тока срабатывания; ток срабатывания токовой отсечки отстраивается от величины токов КЗ в начале смежного участка или в какой-либо другой точке защищаемой сети. У МТЗ ток срабатывания отстраивается только от максимальных токов нагрузки, а селективность действия МТЗ обеспечивается с помощью ступенчатой выдержки времени, нарастающей от потребителей к источнику питания. МТЗ должна работать на своем участке в зоне основного действия, при этом чувствительность считается достаточной при $K_{ch} > 1,5$ на своем участке и $K_{ch} > 1,2$ на резервируемом участке. Нужно помнить, что K_{ch} оценивается как отношение тока в реле при КЗ в расчетной точке в минимальном режиме системы к току срабатывания реле.

Селективная мгновенная токовая отсечка предназначена для ликвидации КЗ только в пределах своего участка, поэтому ее ток срабатывания отстроен от $I_{кз}$. В конце защищаемого участка, а при КЗ за пределами защищаемой линии отсечка не срабатывает и K_{ch} при выборе тока срабатывания отсечки не учитывается. Зона действия токовой отсечки определяется графически, ПУЭ рекомендует применять отсечку, если ее зона действия охватывает не менее 20% защищаемой линии. Поэтому мгновенную токовую отсечку нельзя использовать в качестве единственной защиты. Используется для защиты линии сочетание быстродействующих, но малочувствительных токовых отсечек с медленнодействующими МТЗ, но обладающими достаточной чувствительностью. Такие защиты называются токовыми защитами со ступенчатыми характеристиками времени срабатывания, они просты и дешевы. Удовлетворяют предъявляемым требованиям и получили широкое распространение в распределительных сетях систем электроснабжения. Необходимо изучить принципы выполнения и схемы основных разновидностей токовых защит, выбор их параметров срабатывания, принципы действия и конструкции реле, использующихся в указанных защитах.

Необходимо четко представлять такие понятия и параметры, как ток срабатывания защиты, коэффициент запаса, коэффициент самозапуска, степень селективности.

При изучении схем соединения трансформаторов тока и реле требуется детально изучить схемы полной и неполной звезды и схему включения реле на разность токов ДВУХ фаз.

Следует обратить внимание на поведение токовых защит, выполненных по этим схемам, при двойных замыканиях на землю, а также на неодинаковую чувствительность двух последних схем к двухфазным КЗ за трансформаторами с группой соединений $\Delta/Y-11$.

Схемы защиты выполняются в реле прямого и косвенного действия на постоянном и переменном оперативном токе. Схемы на переменном оперативном токе выполняются на принципе дешунтирования катушки отключения, либо с использованием блоков литания или предварительно заряженных конденсаторов. Необходимо разобраться в принципах действия токового реле времени РВМ-12 и токового промежуточного реле РП-341. Нужно знать требования к трансформаторам тока, использующимся в качестве источника оперативного тока. В отличие от МТЗ отсечки могут использоваться на линиях с

двусторонним питанием. Комплекты защиты устанавливаются с обеих сторон защищаемой линии. Ток срабатывания защиты одинаковый и отстраивается от $I_{\text{КЗ}}^{(2)}$ внешн. макс. (наибольший из двух максимальных токов, протекающих по защитах при КЗ на шинах противоположных подстанций).

Неселективная токовая отсечка действует при КЗ за пределами своей линии. Неселективное действие защиты при КЗ. вне линии исправляется при помощи АПВ. Сочетая мгновенную токовую отсечку, отсечку с выдержкой времени и МТЗ, получают трехступенчатую токовую защиту.

Схемы отсечек с выдержкой времени полностью совпадают со схемой МТЗ, а в схеме мгновенной токовой отсечки отсутствует реле времени.

Следует обратить внимание на то, что для сетей с большим током замыкания на землю защита предусматривается в трехфазном исполнении, а для сетей с малым током замыкания — в двухфазном исполнении. Однорелейная схема находит применение в сетях 6 — 10 кВ и для защиты электродвигателей.

Следует четко представить необходимость в отдельных защитах от однофазных КЗ в сетях с большими токами КЗ на землю, принцип их выполнения, их преимущества перед защитами от междуфазных КЗ. Пусковым органом токовой защиты нулевой последовательности является реле тока, подключенное к фильтру тока нулевой последовательности В остальной схема защиты аналогична схемам токовых защит от междуфазных КЗ.

Следует рассмотреть выполнение токовых защит на микропроцессорных реле.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается принцип действия токовой защиты?
2. Как обеспечивается селективность токовых защит?
3. Какая разновидность токовой защиты называется максимальной?
4. Какая разновидность токовой защиты называется токовой отсечкой ?
5. Что называется током срабатывания и током возврата защиты?
6. Как выбирается ток срабатывания МТЗ и ток срабатывания токового реле МТЗ ?
7. Что такое коэффициент схемы?
8. Какие основные органы входят в состав МТЗ с независимой характеристикой времени срабатывания?
9. Изобразите принципиальные схемы МТЗ с независимой и с ограниченно-зависимой характеристикой времени срабатывания.
10. Как выбрать время срабатывания МТЗ?
11. Как оценить чувствительность МТЗ ?
12. Какие особенности расчета МТЗ с дешунтированием катушек отключения выключателей?
13. Изобразите схемы токовой защиты с дешунтированием катушки отключения с ограниченно-зависимой (с реле РТ-85) и с независимой выдержкой времени (с реле РТ-40, РВМ-12 и РП-341)
14. Как выбирается ток срабатывания отсечки и как определяется зона ее действия?
15. В чем различие, между- селективной и неселективной токовой отсечкой? С какой

целью применяются неселективные токовые отсечки?

16. Как выбираются параметры токовой отсечки на линиях с двухсторонним питанием?

17. Каковы недостатки МТЗ и токовой отсечки и как они преодолеваются в трехступенчатой защите?

18. Как выбираются и согласуются параметры различных ступеней трехступенчатой защиты?

19. Каковы достоинства и недостатки токовых защит МТЗ и токовой отсечки с реле прямого действия?

20. В чем заключается принцип действия МТЗ нулевой последовательности для сетей с большими токами замыкания на землю.

21. Почему применяется специальная токовая защита нулевой последовательности и каковы ее достоинства?

Тема 4. НАПРАВЛЕННЫЕ ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ

Принцип действия направленной токовой защиты. Принцип действия, выбор выдержки и места включения органов направления мощности направленной токовой защиты. Ток срабатывания направленной токовой защиты. Особенности работы направленной максимальной токовой защиты в кольцевых сетях. Принципы выполнения реле направления мощности. Индукционные реле направления мощности типа РБМ Реле мощности на полупроводниковых элементах (схема сравнения абсолютных значений двух электрических величин). Характеристики реле направления мощности. Схемы включения реле направления мощности. 90-градусная схема включения. Схемы и область использования максимальной токовой направленной защиты. Мгновенная токовая направленная отсечка и токовая направленная отсечка с выдержкой времени. Токовая направленная защита со ступенчатой характеристикой выдержки времени. Направленная максимальная токовая защита нулевой последовательности. Направленные токовые защиты нулевой последовательности со ступенчатыми характеристиками выдержки времени.

Литература Л1 § 3.5 ; Л4 § 7.2

Методические указания

Токковые направленные защиты применяются в радиальных сетях с несколькими источниками питания и в кольцевых сетях с одним источником питания. Следует убедиться, что максимальная токовая защита в таких сетях не обеспечивает селективного действия. Следует усвоить принцип действия направленной максимальной токовой защиты. Выбор ее параметров срабатывания, принцип выбора времени срабатывания и места установки органа направления мощности, так как наличие органа направления мощности усложняет защиту, то следует разобраться в каких случаях этот орган необходим. Следует изучить принцип действия конструкцию и основные параметры индукционного реле направления мощности с цилиндрическим ротором. Из схем включения реле направления мощности необходимо ИЗУЧИТЬ 90-градусную схему включения реле, а также схему включения реле направления мощности нулевой последовательности на ток и напряжение нулевой последовательности. Необходимо усвоить, от каких параметров реле зависит

длина мертвой зоны, уметь определить ее расчетным путем. Необходимо усвоить принцип действия реле направления мощности на базе схем сравнения двух напряжений по абсолютному значению и на базе сравнения фаз двух электрических величин. Преимущества данных типов полупроводниковых реле.

Вопросы для самопроверки

1. На какие параметры должна реагировать направленная токовая защита для обеспечения селективности на линиях с двухсторонним питанием?
2. Назовите основные органы направленной МТЗ?
3. Как производится выбор параметров направленной МТЗ?
4. Что называется углом максимальной чувствительности?
5. Что такое мертвая зона реле направления мощности, от чего она зависит и при каких видах КЗ направленная МТЗ имеет мертвую зону?
6. Изобразите схему направленной МТЗ на переменном оперативном токе с независимой выдержкой времени в двухфазном исполнении с включением двух реле направления мощности по 90-градусной схеме.
7. В каких сетях применяются направленные токовые защиты нулевой последовательности?
8. Как включается реле направления мощности нулевой последовательности?
9. Как выбираются параметры трехступенчатой направленной защиты нулевой последовательности?
10. Как включается реле направления мощности в схеме направленной токовой защиты нулевой последовательности для сетей с большим током КЗ на землю? Какие применяются реле?
11. Что дает применение органов направления мощности в токовых отсечках?
12. Какие существуют принцип выполнения полупроводниковых реле направления мощности?
13. В чем заключаются преимущества реле направления мощности на полупроводниках по сравнению с электромеханическими реле?

Тема 5. ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С МАЛЫМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Токи и напряжения при замыканиях на землю. Основные требования к защите. Принцип выполнения защит от замыкания на землю. Устройство общей неселективной сигнализации. Принцип работы трансформатора тока нулевой последовательности (ТНП). Ненаправленная и направленная токовая защита нулевой последовательности, реагирующая на токи установившегося режима. Размещение защит и выбор параметров.

Токовая защита нулевой последовательности, реагирующая на емкостные токи переходного процесса. Токовая защита нулевой последовательности, реагирующая на высшие гармонические в токе нулевой последовательности.

Литература Л.-4 § 7.7

Методические указания

В сетях с малыми токами замыкания на землю, к которым относятся сети с рабочим напряжением меньше или равным 35кВ, работающие с изолированной нейтралью или нейтралью, заземленной через дугогасящую катушку, замыкание одной фазы на землю не вызывает короткого замыкания. Возникающий в месте повреждения ток имеет небольшую величину до нескольких десятков ампер (20-30 А). Однако фазное напряжение неповрежденных фаз повышается до междуфазного.

Линейные же напряжения при этом виде повреждения остаются неизменными. Чтобы это все усвоить и представить наглядно, требуется разобраться в векторных диаграммах тока и напряжения в нормальных и аварийных режимах.

Однофазное замыкание на землю не отражается на работе потребителей и не нарушает синхронной работы генераторов. Поэтому в отличие, от КЗ замыкания на землю не требуют немедленной ликвидации. Однако длительная работа сети с заземленной фазой нежелательна, так как длительное прохождение тока в месте замыкания, а также перенапряжения неповрежденных фаз относительно земли могут привести к повреждению изоляции и переходу однофазного замыкания в междуфазное КЗ. Защиту от рассматриваемых повреждений выполняют с действием им сигнал.

Необходимо изучить устройства неселективной сигнализации, реагирующие на появление напряжений нулевой последовательности при замыкании на землю в сети, но без указания поврежденной линии. В качестве селективных защит от замыканий на землю, называющих поврежденный участок, применяются токовые и направленные защиты, реагирующие на ток нулевой последовательности и мощность нулевой последовательности. В качестве фильтра тока нулевой последовательности используется специальный трансформатор тока нулевой последовательности (ТНП) особой конструкции. В фильтре тока нулевой последовательности, выполненном с помощью ТНП, ток нулевой последовательности получается магнитным суммированием первичных токов трех фаз. Требуется учесть, что если первый емкостный ток фазовой последовательности сети соизмерим с собственным емкостным током нулевой последовательности отдельного присоединения, то чувствительность защиты мала и токовая защита неприменима. В этом случае используются направленные защиты. В схемах направленных защит используются полупроводниковые реле мощности, к которым подводят ток и напряжение нулевой последовательности. Для данных защит требуется изучить выбор параметров, проверку чувствительности и размещение комплектов защиты. Используется защита, реагирующая на токи неустановившегося режима, а также на высшие гармонические в токе нулевой последовательности.

В компенсированных сетях результирующий ток нулевой последовательности поврежденного элемента содержит больше высших гармоник, чем ток в неповрежденных элементах. Именно на этом различии основаны защиты в таких сетях.

Вопросы для самопроверки

1. Чем обусловлены токи в месте повреждения при однофазном замыкании на землю в сети с малыми токами замыкания на землю?
2. Какие процессы происходят в сетях с малым током замыкания на землю при возникновении замыкания на землю?

3. Какие выполняются защиты от замыкания на землю в некомпенсированных и компенсированных сетях?

4. Какие недостатки у трехтрансформаторных фильтров тока нулевой последовательности, какие преимущества у однотрансформаторных фильтров тока нулевой последовательности (ТНП)?

5. Каким образом можно исключить влияние токов, проходящих по броне кабелей, на работу защиты?

6. В каких случаях используется направленная защита нулевой последовательности?

Тема 6. ДИСТАНЦИОННЫЕ ЗАЩИТЫ

Назначение и принцип действия дистанционной защиты. Основные органы дистанционной защиты и их взаимодействие. Принципиальная схема дистанционной защиты. Характеристики срабатывания реле сопротивления в комплексной плоскости.

Принципы выполнения реле сопротивления. Реле сопротивления на базе сравнения абсолютных значений двух электрических величин 1-1ндукционные реле сопротивления

Схемы включения дистанционных органов. Пусковые органы дистанционной защиты. Токовые пусковые органы и пусковые органы сопротивления.

Выбор уставок дистанционной защиты. Ступенчатые характеристики выдержек времени дистанционной защиты и их согласование на смежных участках сети. Оценка и область применения дистанционных защит.

Литература Л-1 §3.6 Л. -4 §7.6

Методические указания

Дистанционные защиты — наиболее сложный вид релейной защиты, применяющийся в системах электроснабжения. Основное преимущество дистанционных защит перед токовыми заключается в том, что они при достаточно быстром действии и чувствительности обеспечивают избирательность в сетях любой сложности, с любым числом источников питания.

Необходимо тщательно изучить общие принципы построения дистанционных защит, а именно: принципы действия, характеристики выдержки Времени и срабатывания, принципиальную схему трехступенчатой дистанционной защиты. Следует изучить принцип действия реле сопротивления, выполненного на базе сравнения абсолютных значений двух напряжений.

Для каждой из рассматриваемых схем включения реле сопротивления необходимо усвоить СЕЯЗЬ между величиной сопротивления на зажимах реле и расстоянием от места установки защиты до места КЗ, при тех видах КЗ, на которые должна реагировать рассматриваемая защита. Необходимо иметь в виду, что в современных защитах с целью уменьшения количества сложных реле дистанционные органы не всегда "жестко" включаются по указанным схемам.

Широко применяются односистемные защиты, в которых к одному и тому же реле подводят токи и напряжения в зависимости от вида КЗ. Необходимо иметь общее представление об односистемной защите Д 3-1 для линий 35 кВ.

Следует четко представить, что дистанционные защиты, как наиболее сложные и

дорогие, должны применяться лишь при невозможности использования более простых токовых защит.

Вопросы для самопроверки

1. На какие параметры режима защищаемой линии реагирует, дистанционная защита?
2. Как производится согласование ступенчатых характеристик выдержки времени дистанционных защит сложных участков сети?
3. Какие основные органы имеет дистанционная защита?
4. Изобразите принципиальную схему дистанционной защиты с отдельными дистанционными органами для I и II зоны.
5. Какие типы пусковых органов применяются в дистанционных защитах?
6. Какая дистанционная защита называется односистемной?
7. В чем заключается преимущество дистанционной защиты с токовыми пусковыми органами перед токовой защитой со ступенчатой характеристикой?
8. Для линий каких напряжений применяются дистанционные защиты со ступенчатой и комбинированной характеристикой выдержки времени?

Тема 7. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ

Виды дифференциальных защит. Принцип действия продольной дифференциальной токовой защиты с табулирующими токами и с уравновешенными напряжениями. Ток небаланса в схеме дифференциальной защиты. Включение реле через промежуточные быстро насыщающиеся трансформаторы тока для отстройки от токов небаланса.

Использование в схемах дифференциальной защиты реле с торможением. Особенности выполнения продольной дифференциальной защиты линий. Оценка и область применения продольной дифференциальной защиты.

Принцип действия и область применения поперечной дифференциальной токовой защиты. Принцип действия поперечной дифференциальной направленной токовой защиты. Пусковые органы поперечной дифференциальной токовой направленной защиты. Оценка и область применения поперечной направленной токовой дифференциальной защиты.

Литература Л1 § 4.1-4.3 Л. -4. § 7.3-7.

Методические указания

Продольные дифференциальные токовые защиты являются быстродействующими и селективными, но имеют малое применение в распределительных сетях. Поэтому требуется обратить внимание на изучение принципа действия этой защиты, токов небаланса и способов их уменьшения или ослабления их влияния, так как эти вопросы кладутся основу при изучении дифференциальных защит других элементов (генераторов, трансформаторов; двигателей и др.).

По поперечным дифференциальным защитам линий необходимо изучить их принципы

выполнения. Особенности работы, такие как наличие мертвых зон, необходимость выведения защиты из действия при отключении одной из параллельных линий, необходимость в дополнительных защитах.

При изучении поперечных дифференциальных направленных защит нужно четко представлять, как работают при коротких замыканиях пусковые органы защиты, уяснить, что такое мертвая зона и зона каскадного действия.

Следует иметь в виду, что поперечные дифференциальные токовые и поперечные дифференциальные направленные защиты вследствие их сравнительной простоты быстро действия имеют довольно широкое применение в системах электроснабжения для защиты параллельных линий.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается принцип действия продольной дифференциальной защиты с циркулирующими токами?
2. Что называется током небаланса продольной дифференциальной защиты и чем он обусловлен?
3. Как уменьшаются токи небаланса или как ослабляется их влияние в схемах, дифференциальной защиты?
4. В чем заключается принцип действия поперечной дифференциальной токовой защиты?
5. Изобразите принципиальную схему поперечной дифференциальной токовой, защиты?
6. Где располагается мертвая зона поперечной дифференциальной защиты линий, присоединяемых к сборным шинам через общие выключатели? Чем она обусловлена?
7. Изобразите принципиальную схему поперечной дифференциальной направленной токовой защиты.
8. Чем обусловлена мертвая зона и зона каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты и где они располагаются?
9. Прием поперечную дифференциальную и поперечную дифференциальную направленную защиту нужно выводить из действия при отключении одной из линий и как это делается?
10. Перечислите достоинства и недостатки дифференциальных защит.

Тема 8. ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ТРАНСФОРМАТОРОВ

Виды повреждений и ненормальных режимов работы трансформаторов. Защита трансформаторов при помощи плавких предохранителей. Защита трансформаторов при помощи токовой отсечки и токовой защиты со ступенчатой характеристикой выдержкой времени. Защита трансформаторов от сверхтоков междуфазных внешних КЗ. Токовая защита от перегрузки. Газовая защита. Дифференциальные защиты трансформатора. Особенности и токи небаланса дифференциальной защиты. Виды схем дифференциальных защит трансформатора. Оценка дифференциальных защит трансформатора

Автоматика трансформаторов. АПВ трансформаторов АВР трансформаторов, автоматическое отключение и включение одного из параллельно работающих

трансформаторов для уменьшения потерь энергии, автоматическая разгрузка трансформаторов, автоматическое регулирование напряжения трансформаторов.
Литература. Л-1§5.1.1-5.1.17 Л-2§10.11;

Методические указания

Принцип выполнения защит трансформаторов связан с особенностями их работы в нормальном режиме и при различных видах повреждений. При изучении особенностей работы трансформаторов необходимо рассмотреть процесс при включении трансформатора под напряжение и при восстановлении напряжения после отключения внешних коротких замыканий. Рассматривая защиту трансформаторов предохранителями, следует учесть особенности согласования защитных характеристик предохранителей $t = f(I)$ с характеристиками защит линий.

Принцип действия токовой отсечки и максимальной токовой защиты трансформаторов подобен принципу действия соответствующих защит линий. Для защиты трансформаторов от сверхтоков внешних КЗ применяется максимальная токовая защита, максимальная токовая защита с пуском минимального напряжения, с комбинированным пуском по напряжению и токовая защита обратной последовательности.

Для повышающих трансформаторов применяется токовая защита нулевой последовательности от сверхтоков при внешних однофазных КЗ в сетях, имеющих глухое заземленные нейтрали. При изучении газовой защиты требуется рассмотреть принцип действия газовых реле, требования к его установке и схеме газовой защиты.

Необходимо ИЗУЧИТЬ дифференциальную защиту трансформатора. Основными причинами появления токов небаланса в дифференциальной защите трансформатора являются броски тока намагничивания при включении трансформатора разнотипность трансформаторов тока, различие В условиях работы трансформаторов тока, регулирование коэффициента трансформации защищаемого трансформатора Рассмотрев причины и характер тока небаланса, определяют ток срабатывания защиты. Необходимо изучить следующие схемы дифференциальной защиты: дифференциальной токовой отсечки, дифференциальной токовой защиты с реле типаРНТ-565, дифференциальной токовой защиты с реле, имеющих торможение (реле типов ДЗТ-11, ДЗТ-21, ДЗТ-23).

Защита от перегрузки выполняется с помощью МТЗ, включенной на ток одной фазы. Защита действует с выдержкой времени на сигнал, а на необслуживаемых подстанциях — на разгрузку или отключение трансформаторов. На двухобмоточных трансформаторах защита от перегрузки устанавливается со стороны основного питания. На трехобмоточных трансформаторах — со стороны основного питания и со стороны обмотки, где питание отсутствует, а при трехстороннем питании — со всех трех сторон. При изучении защиты от перегрузок следует ознакомиться с принципами построения схем и выбором параметров срабатывания.

Для закрепления материала рассмотреть полную схему защиты трансформатора, на которой установить назначение каждого реле, виды защит и зоны их действия, также рассмотреть схему защиты трансформатора на переменном оперативном токе.

При изучении устройств АПВ и АВР трансформаторов необходимо обратить внимание на то, что схемы АПВ И АВР соответствуют схемам АПВ и АВР линий, изученных ранее. При изучении АПВ трансформаторов необходимо обратить внимание на

способы пуска и осуществление запрета АПВ.

Поддержание напряжения на должном уровне у потребителя может осуществляться различными способами. При изучении данного вопроса следует усвоить методы регулирования напряжения в системе электроснабжения и рассмотреть схемы автоматического регулирования напряжения трансформаторов. Рассмотреть принцип действия регулятора АРТ-1Н и АРКТ выполненных на бесконтактных элементах.

Вопросы для самопроверки.

1. Перечислите основные виды защит, устанавливаемых на трансформаторах в зависимости от их мощности.
2. На какие виды повреждения и ненормальных режимов реагирует газовая защита?
3. Как: соединяются вторичные обмотки трансформаторов тока дифференциальной защиты трансформатора с группой соединения
4. Как предотвращается неправильное действие дифференциальной защиты при броске тока намагничивания?
5. Объясните все причины появления тока небаланса в дифференциальной защите трансформатора.
6. В каких случаях на трансформаторах можно устанавливать дифференциальную отсечку, и чем она отличается от дифференциальной защиты с реле типа РНТ?
7. Когда применяются для защиты трансформаторов от к.з. токовые отсечки?
8. Какие виды автоматики предусматриваются на трансформаторах?
9. В каких случаях на трансформаторах целесообразно устанавливать АПВ и АВР?
10. Составьте описание действия схем автоматического регулирования напряжения трансформатора?

Тема 9. ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Виды повреждений и ненормальных режимов работы, учитываемых при выполнении защиты. Продольная дифференциальная защита генераторов. Схемы, условия выбора уставок защит для генераторов разной мощности с реле типов РСТ-11, РСТ-15 и ДЗТ-11/5. Оценка чувствительности.

Защита от замыканий между витками одной фазы. Схема, реле защиты, условия выбора уставок.

Защита от замыкания обмотки статора на корпус (на землю), реализованная комплектами БРЭ 1301-02 и БРЭ1301- 03.

Защита от сверхтоков КЗ и перегрузок. Токовые защиты с пуском по напряжению, токовые защиты обратной последовательности со ступенчатой времятоковой характеристикой. Дистанционная защита.

Защита обмотки ротора генератора от замыкания на корпус во второй точке, защита от перегрузки током возбуждения с независимой выдержкой времени.

Выполнение защит генератора на микропроцессорных комплектах.

Полная схема защиты генератора, выполнение выходных цепей

Автоматическое регулирование возбуждения. Назначение регулирования. Регуляторы пропорционального действия и регуляторы сильного действия. Некоторые виды

регуляторов: компаундирование полным током, компаундирование полным током с коррекцией напряжения, фазовое компаундирование с коррекцией напряжения, релейная форсировка.

Литература Л.-1 §5.2.1-5.2.15 Л.-6 §5.1-5.6

Методические указания

Изучение видов повреждения генераторов в релейной защите имеет цель выяснить те параметры, на изменение которых могут реагировать защиты при различных повреждениях.

При изучении всех защит нужно учесть, что для защиты низковольтных генераторов применяется упрощенная защита, выполняемая при помощи плавких предохранителей и автоматических выключателей с расцепителями.

При рассмотрении защит высоковольтных генераторов необходимо изучить не только их назначение и принцип действия, но и ознакомиться с методикой расчета соответствующих параметров и выбора реле.

Принцип действия продольной дифференциальной защиты генератора не отличается от рассмотренной ранее дифференциальной защиты линий. При изучении продольной дифференциальной защиты генератора следует обратить внимание на особенности выполнения защиты, на выбор тока срабатывания и определение коэффициента чувствительности. Изучая поперечную дифференциальную защиту от витковых замыканий, необходимо уделить основное внимание защите с одним токовым реле, имеющим встроенный фильтр высших гармоник.

При изучении защиты от замыканий на землю в обмотке статора генератора с трансформатором тока нулевой последовательности необходимо разобраться в работе трансформатора тока с подмагничиванием, ознакомиться со схемой защиты и назначением отдельных реле в ней отстройки защиты от токов небаланса при внешних КЗ.

Максимальные токовые защиты генератора имеют различные способы пуска схем (минимального напряжения, напряжения обратной последовательности). Необходимо иметь также общее представление о токовых защитах обратной последовательности, защите от перегрузок, выборе параметров защит от внешних к. з. и перегрузок. Требуется уяснить принцип действия защиты от замыканий на землю цели возбуждения в одной точке и во второй точке. После рассмотрения отдельных видов защит рассмотрите полную схему защиты генератора, работающего на шины генераторного напряжения.

Необходимо ознакомиться с назначением автоматического регулирования возбуждения генераторов в нормальных и аварийных режимах работы систем электроснабжения. Нужно представлять особенности и назначение регуляторов сильного действия. Изучить принцип действия следующих элементов системы автоматического регулирования возбуждения пропорционального действия релейной форсировки возбуждения, компаундирования полным током, компаундирования полным током с электромагнитным корректором напряжения, фазового компаундирования.

Вопросы для самопроверки

1. От каких видов повреждений и ненормальных режимов генератора устанавливается релейная защита?
2. Как выбирается ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты,

и какие типы реле применяются?

3. На каких генераторах применяется поперечная дифференциальная защита и ее принцип действия?

4. При каких значениях тока замыкания на землю защита от замыканий на землю должна действовать на отключение'⁷

5. Объясните принцип действия трансформатора тока с подмагничиванием.

6. Почему защита статора от замыканий на землю выводится из действия при внешних КЗ?

7. Объясните принцип действия и назначение токовой защиты обратной последовательности.

8. Как работает защита от сверхтоков с комбинированной блокировкой по напряжению?

9. Как работает защита от замыканий на землю во второй точке цепи возбуждения'⁷

10. Почему для автоматического регулирования возбуждения не может быть применено компаундирование без электромагнитного корректора? Составьте структурную схему АРВ.

11. Объясните назначение и принцип действия релейной форсировки возбуждения

Тема 10. ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ДВИГАТЕЛЕЙ

Виды повреждений и ненормальных режимов работы электродвигателей. Защита и автоматика электродвигателей напряжением до 1000 В. Защита асинхронных электродвигателей от междуфазных КЗ и перегрузок. Разновидности защит, выбор уставок. Защита электродвигателей от однофазных замыканий на землю. Защита минимального напряжения. Полная схема защиты асинхронного электродвигателя.

Особенности защиты синхронных электродвигателей. Защита минимального напряжения АПВ и АВР двигателей.

Литература Л-1 §5.3.1-5.3.5 [1]

Методические указания

При изучении защит электродвигателей необходимо, прежде всего, ознакомиться с возможными повреждениями и опасными режимами работы электродвигателей. Нужно внимательно разобраться в явлениях, происходящих при пуске и самозапуске двигателей, усвоить принципы выполнения защит двигателей и выбор их уставок.

Рассматривая конкретные типы защиты и их схемы, следует учитывать, что защиту низковольтных электродвигателей следует выполнять наиболее простыми средствами (автоматы, контакторы, плавкие предохранители). Защита электродвигателей высокого напряжения во многих случаях может выполняться с помощью вторичных реле прямого действия или реле косвенного действия на переменном оперативном токе

При выборе параметров токовой защиты от междуфазных коротких замыканий необходимо обратить внимание на отстройку тока срабатывания защиты от пусковых токов двигателя.

Возможность перегрузки, способной вызвать повреждение двигателя, необходимо учитывать при решении вопроса о применении защиты от перегрузки и включении ее с

действием на сигнал, отключение или разгрузку механизма.

Принцип действия дифференциальной защиты и токовой защиты нулевой последовательности рассмотрен в предыдущих разделах и достаточно ограничиться только особенностями, вытекающих из экономических соображений и конкретных условий применения этих защит.

При изучении защиты минимального напряжения следует исходить из ее назначения и рассмотреть выполнение индивидуальных и групповых защит на постоянном и переменном токе для электродвигателей до и выше 1000 В.

Рассматривая защиты синхронного двигателя от несинхронной работы, обратите внимание на изменение токов в статоре и роторе у электродвигателя, выпавшего из синхронизма.

Надо знать основные виды автоматики, применяемые на двигателях, и их назначение.

При изучении схем АВР электродвигателей следует иметь в виду, что пуск устройства АВР может производиться не только при отключении выключателя рабочего двигателя, но и при недопустимом отклонении технологического параметра.

Вопросы для самопроверки

1. В каких случаях защита от междуфазных К.З. двигателей выполняется однорелейной, и в каких двухрелейной?
2. В каких случаях требуется установка на двигателях защиты от замыканий на землю?
3. Для каких электродвигателей защита от перегрузок обязательна, и в каких случаях она может не ставиться?
4. КАКОВО назначение защиты минимального напряжения?
5. Каковы особенности защиты синхронных двигателей?

Тема 11. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

Виды повреждений на шинах, их опасность. Способы выполнения защиты шин.

Принципы выполнения и действия дифференциальной защиты шин. Условия выбора уставок. Контроль токовых цепей. Особенности выполнения дифференциальной защиты шин при фиксированном присоединении элементов. Неполная дифференциальная защита шин: особенности выполнения; область применения

Литература Л.-1 § 5.4.1 Л-2§10.5

Методические указания

Повреждения на сборных шинах могут привести к тяжелым авариям в энергосистемах. В первую очередь следует рассмотреть возможные виды повреждения в зависимости от номинального напряжения и вида заземления нейтрали.

В качестве наиболее простых видов защит применяются токовые защиты на питающих присоединениях и секционных выключателях, с выполнением которых необходимо ознакомиться. В тех случаях, когда защита питающих элементов не обеспечивает необходимое быстродействие и селективность, предусматриваются специальные защиты шин. На электрических станциях и мощных подстанциях обычно применяется дифференциальная защита шин. Следует рассмотреть особенности

выполнения дифференциальной защиты в зависимости от схемы первичных соединений и режима работы сборных шин.

При изучении защит токопроводов можно ограничиться рассмотрением основных видов защит и их особенностями. Устройства АПВ. АВР рассмотрены в предыдущих разделах и при изучении этих видов автоматики достаточно ограничиться только особенностями, вытекающими из конкретных условий применения этих устройств.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите способы выполнения защиты шин
2. Почему в реактированных линиях, отходящих от генераторного напряжения ТЭЦ, не устанавливаются трансформаторы тока для дифференциальной защиты шин?
3. Каким образом производится АПВ сборных шин?

Тема 12. РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ОТКАЗА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Выполнение устройства резервирования отказа выключателей (УРОВ).
УРОВ на линиях и трансформаторах собственных нужд 6 кВ.

Литература Л.-2 § 12.1 - 12.3

Тема 13. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (АПВ)

Значение устройств АПВ для повышения надежности питания потребителей и их эффективность. Классификация устройств АПВ. Основные требования и расчет ИХ параметров. Трехфазное АПВ линий с односторонним питанием на выпрямленном оперативном токе. Схемы устройств АПВ на переменном оперативном токе. Особенности устройств АПВ линий с двусторонним питанием. Несинхронное АПВ. АПВ с контролем синхронизма. Быстродействующее АПВ. Отбор напряжения с линий электропередачи для целей АПВ.

Особенности совместной работы устройств АПВ и релейной защиты. Ускорение действия защиты до и после АПВ. Токовая защита с поочередным АПВ. АПВ с возрастающей кратностью.

Литература Л.-2 § 10.1-10.7

Методические указания

Основные требования к выполнению устройств АПВ состоят в том, что они должны действовать строго по заданной программе и не должны действовать при переключениях, производимых дежурным персоналом.

В учебной литературе приводится описание большого числа схем АПВ. После общего знакомства с основными принципами, по которым могут быть выполнены трехфазные устройства АПВ, необходимо изучить схемы АПВ с применением специальных реле РПВ однократного и двукратного действия. При изучении АПВ необходимо обратить внимание на способы пуска и осуществления запрета АПВ.

При изучении НАПВ, БАПВ, АПВ с контролем синхронизма и других видов АПВ линий с двухсторонним питанием достаточно ограничиться знакомством с принципом действия и их особенностями.

Рассматривая особенности совместной работы устройств АПВ и релейной защиты следует учесть, что за время ожесточенного состояния асинхронные двигатели

потребителей тормозятся и при повторном молочении происходит их самозапуск. При изучении данного раздела можно ограничиться только, физическими процессами самозапуска.

В отношении ускорения действия релейной защиты при наличии АПВ необходимо изучить схемы и получить четкое представление их применения.

Вопросы для самопроверки

1. Чем определяется эффективность действия АПВ?
2. Объясните работу, блокировки от многократных включений и отключений выключателя при действии АПВ?
3. Назовите, особенности устройств АПВ линий с двусторонним питанием.
4. Назовите преимущества и недостатки, а также области применения различных типов устройств АПВ, линий с двусторонним питанием.

Тема 12. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ(АВР)

Назначение и основные требования, предъявляемые к устройствам АВР. Схемы устройств АВР в установках напряжением до 1000 В. Схемы устройств АВР в установках высокого напряжения. Устройства АВР для выключателей с пружинными или грузовыми приводами. Варианты схем минимальных пусковых органов напряжения. Расчет уставок устройств АВР.

Литература Л.2 -§10.8-10.10

Методические указания

Перед изучением схем устройств АВР следует ознакомиться с методами повышения надежности питания потребителей и упрощения релейной защиты путем применения АВР.

В энергосистемах применяется большое количество устройств АВР, отличающихся друг от друга в зависимости от конкретных условий, работы и схем первичной коммутации. Наряду со схемами АВР на постоянном оперативном токе применяются устройства АВР на переменном и выпрямленном оперативном токе.

При изучении основных принципов выполнения устройств АВР надо разобраться с вопросами пуска, способами обеспечения однократности действия устройств АВР, вариантами схем минимальных пусковых органов напряжения. При рассмотрении конкретных схем АВР следует учитывать, что минимальный пусковой орган напряжения не требуется, если рабочий и резервный источники питаются от одного источника питания.

Вопросы для самопроверки

1. Почему - включение резервного источника должно происходить только после отключения рабочего?
2. В чем отличие автоматического включения резерва от автоматического повторного включения?
3. Каким образом обеспечивается однократность действия устройств АВР?

Тема 13. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТНАЯ РАЗГРУЗКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ (АЧР)

Назначение и особенности выполнения устройств АЧР. Требования к устройствам АЧР и расчет их параметров. Причины кратковременных понижений частоты, их учет. Реле частоты. Схемы устройств АЧР. Схемы устройств АЧР с последующим автоматическим повторным включением после восстановления частоты. Местная частотная разгрузка.

Литература Л.-2 §11.1-11.4

Методические указания

Понижение частоты в энергосистеме является, как правило, следствием нарушения баланса генерируемой и потребляемой мощностей. Для объяснения необходимости быстрого восстановления частоты в системе следует рассмотреть причины, по которым не допускается работа с пониженной частотой.

При действии АЧР происходит восстановление частоты. Рассмотрите изменение частоты в системе при действии АЧР и ознакомьтесь с принципами выбора частоты срабатывания и выдержек времени АЧР. Кратковременное понижение частоты может быть вызвано различными причинами. Если при этом действуют АЧР, то должны предусматриваться устройства, восстанавливающие питание отключенных потребителей.

Вопросы для самопроверки

1. Почему устройства АЧР предупреждают системные аварии?
2. Объясните причины кратковременных понижений частоты в энергосистеме?
3. Опишите действие схемы АЧР с последующим АПВ после восстановления частоты?
4. Почему возможно ложное действие АЧР на подстанциях, питающих мощные синхронные и асинхронные электродвигатели?

Примерный перечень лабораторных работ.

№1 Исследование схем соединения трансформаторов тока и обмоток реле

№2 Испытание электромагнитных реле тока и напряжения

№3 Расчет, настройка и проверка работы защиты асинхронного двигателя от КЗ и перегрузок.

№4 Испытание устройства трехфазного электрического АПВ однократного действия для ЛЭП с односторонним питанием

№5: Испытание устройства АВР трансформатора

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Общие указания

Выполнение контрольных заданий должно способствовать лучшему усвоению теоретического материала учебного предмета и приобретению необходимых навыков решения практических задач в области автоматизации и релейной защиты систем электроснабжения.

По предмету предусмотрено выполнение двух домашних контрольных работ. Исходные данные к домашним контрольным работам даются в пятидесяти вариантах. Вариант определяется по порядковому номеру в журнале на момент выдачи задания.

Контрольные работы выполняются с учетом следующих требований.

1. При выборе типов защит руководствоваться требованиями ТКП, раздел 3.
2. Схемы защиты должны выполняться с обязательным соблюдением ГОСТа на обозначения в электрических схемах и чертежах (ГОСТ 2.702-69, ГОСТ 2.705.70, ГОСТ 2.723-68, ГОСТ 2.728-74, ГОСТ 2.727-68, ГОСТ 2.730-73, ГОСТ 2.751-73, ГОСТ 2.702-75, ГОСТ 2.710-75, ГОСТ 2.755-74 и ГОСТ 2.756-76), указания методические межотраслевые по применению Государственных стандартов ЕСКД в электрических схемах Лв9386 ТМ-Т1.
3. Использовать в защитах типовую аппаратуру. Источниками для выбора аппаратуры являются каталоги электрооборудования и справочники реле защиты и автоматики.

Домашняя контрольная работа 1

В этой работе необходимо разработать релейную защиту от всех видов повреждений радиальных линий электрической сети с односторонним питанием (рис. 1).

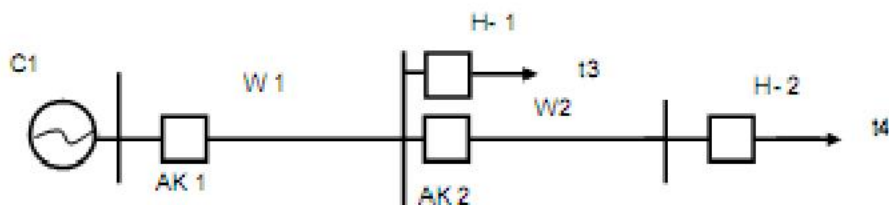


Рис 1 Электрическая сеть с односторонним питанием

Работу следует выполнять в следующем объеме.

1. Выбрать места установки релейных защит линий.
2. Выбрать типы трансформаторов тока и их коэффициенты трансформации исходя из заданных нагрузок линий. Проверку выбранных на электродинамическую и термическую стойкость не выполнять.
3. Рассчитать токи коротких замыканий, необходимые для выбора уставок и проверок чувствительности разрабатываемых защит.
4. Определить уставки двухступенчатой токовой защиты от многофазных коротких замыканий (к. з.) и выбрать типы реле.
5. Для максимальной токовой защиты проверить чувствительность каждой защиты при работе ее в качестве основной для данного участка, а также в качестве резервной для

следующего участка.

6. Представить характеристики выдержек времени (карту селективности) выбранных защит сети.

7. Определить зоны действия токовых отсечек и оценить их эффективность.

8. Представить описание защит от однофазных к. з. и от однофазных замыканий на землю

9. Составить полную трехлинейную схему выбранных защит для линий/Л. -1/.

Методические указания к выполнению домашней контрольной работе

Первую ступень токовой защиты также называют токовой отсечкой (**ТО**) без выдержки времени (**ВВ**). Рассмотрим **ЛЭП W1**, питающуюся от шин подстанции А (**рис. 2**).

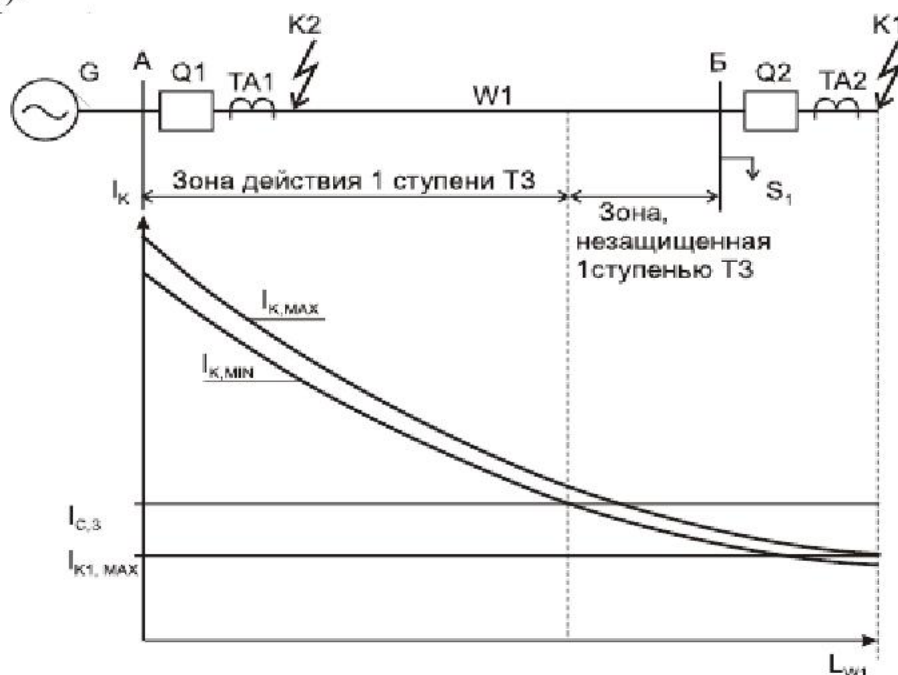


Рисунок 2. Схема для определения тока срабатывания первой ступени ТЗ (ТО)

Поскольку высшим свойством РЗ является селективность, то с учетом этого найдем ток срабатывания токовой защиты первой ступени. Прежде всего необходимо обеспечить, чтобы защита не срабатывала при КЗ в начале следующей линии, более того, ток срабатывания должен быть с необходимым запасом больше этого тока:

$$I_{C,3}^{I,A} > I_{K1,MAX} \quad (1.1)$$

Необходимый запас обеспечивается коэффициентом отстройки $k_{отс}$, тогда ток срабатывания соответствует выражению

$$I_{C,3}^{I,A} \geq k_{отс} I_{K1,MAX} \quad (1.2)$$

где $I_{C,3}^{I,A}$ — ток срабатывания защиты первой ступени на подстанции А; $I_{K1,MAX}$ — максимальный ток короткого замыкания в точке К1; $k_{отс}$ — коэффициент отстройки (надежности или запаса), включает погрешность **ТТ**, погрешность реле, ошибку персонала и некоторые другие факторы; $k_{отс} = 1,2...1,5$. Ток срабатывания защиты $I_{C,3}$ — это

первичный ток в линии, при котором происходит отключение **Q1**. Ток срабатывания реле $I_{C,P}$ — это ток во вторичной обмотке **ТТ**, при котором реле подает сигнал на отключение **Q1**:

$$I_{C,P} = \frac{k_{CX} I_{C,3}}{k_T}, \quad 1.3$$

где k_T — коэффициент трансформации **ТТ**. Расчет релейной защиты производят обычно по первичному току ЛЭП, т.е. находят $I_{C,3}$.

В соответствии со вторым требованием РЗ необходимо обеспечить быстродействие, то есть первая ступень ТЗ должна работать с минимальным временем срабатывания. С другой стороны, мы не можем сделать $t_{C,3}^{I,A} = 0$, так как защита должна быть отстроена от времени работы разрядников, которое равно $t_{PAZP} = 0,06 \dots 0,08$ с. Однако специальной задержки для первой ступени ТЗ не делают, так как благодаря собственному времени задержки измерительного токового реле (например, РТ-40 не более 0,03 с), и промежуточного (например, РП-25 не более 0,06 с) производится естественная отстройка от работы разрядников. По третьему требованию, предъявляемому к РЗ, защита должна обладать необходимым (в соответствии с правилами [5]) коэффициентом чувствительности к наименьшему току КЗ в начале ЛЭП (в точке К2), а именно:

$$k_{\eta} = \frac{I_{K2,MIN}}{I_{C,3}^{I,A}} \geq 2. \quad (1.4)$$

В соответствии с работой [6], отсекку можно принять в качестве основной защиты, если защищаемая зона составляет более 20% от всей ЛЭП.

Максимальная токовая защита (МТЗ). МТЗ — самая чувствительная ступень из токовых защит, поэтому она должна быть:

— во-первых, отстроена от максимального тока нагрузки ($I_{P,MAX}$)

$$I_{C,3}^{III,A} > I_{P,MAX}, \quad (1.5)$$

где $I_{P,MAX}$ — максимальный рабочий ток линии, который в соответствии с **рис.3** может быть найден по формуле

$$I_{P,MAX} = \frac{S1 + S2}{\sqrt{3}U_H}. \quad (1.6)$$

— во-вторых, отстроена от токов самозапуска нагрузки S1 и S2 (**рис.3**) после КЗ в точке К1 (рис. 4,а). При отключении основной защитой КЗ и спустя время $t_{АПВ}$, успешном включении выключателя **Q1** от АПВ произойдет самозапуск нагрузки S1 и S2, тогда ток срабатывания защиты:

$$I_{C,3}^{III,A} \geq k_{отс} I_{CЗП}. \quad 1.6$$

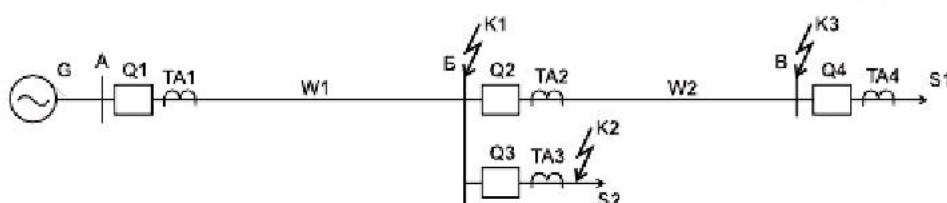


Рисунок 3. Расчетная схема

Учитывая, что $I_{C3П} = k_{C3П} \cdot I_{P,MAX}$ ($k_{C3П}$ – коэффициент самозапуска, $k_{C3П} = 1 \dots 7$; при отсутствии двигательной нагрузки $k_{C3П} = 1$, при наличии только двигательной нагрузки $k_{C3П} = k_{П} = 5 \dots 7$, $k_{П}$ – коэффициент пуска двигателя), запишем:

$$I_{C,3}^{III,A} \geq k_{ОТС} k_{C3П} I_{P,MAX}; \quad (1.7)$$

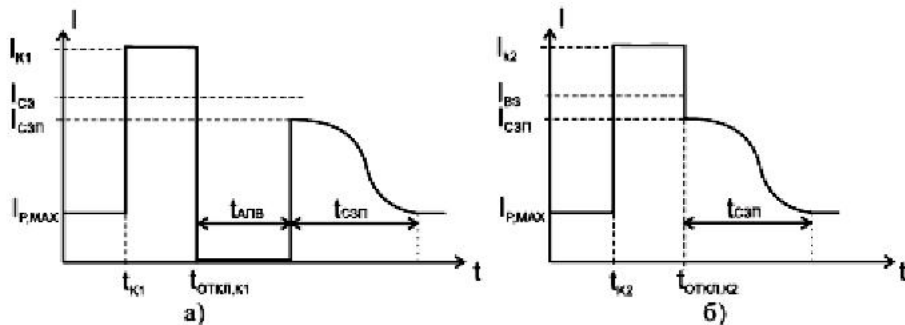


Рисунок 4.. Изменения тока при аварийных режимах

— в третьих, отстроена от токов самозапуска нагрузки **S1** и **S2** (рис. 3) при отключении **КЗ** в точке **К2** (рис. 4б), тогда $I_{B,3}^{III,A} \geq K_{ОТС} \cdot I_{C3П}$ ($I_{B,3}$ — ток возврата защиты, k_B — коэффициент возврата реле, $k_B = \frac{I_{B,3}}{I_{C,3}}$), учитывая, что

$I_{C,3П} = k_{C3П} \cdot I_{P,MAX}$, запишем $k_{ВОЗ} \cdot I_{C,3}^{III,A} \geq K_{ОТС} \cdot I_{C3П} \cdot I_{РАБ,MAX}$ или перепишем для $I_{C,3}^{III,A}$

$$I_{C,3}^{III,A} \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_{C3П} \cdot I_{РАБ,MAX}}{k_{ВОЗ}} \quad (1.8)$$

— в четвертых, согласована с третьей ступенью смежной линии

$$I_{C,3}^{III,A} \geq k_{ОТС} I_{C,3}^{III,B} \quad (1.9)$$

Из четырех возможных вариантов выбирают $I_{C,3}^{III,A}$ с наибольшим расчетным значением тока. Обычно формула (1.8) является определяющей. Ток срабатывания реле определяется по формуле (1.3).

Время срабатывания третьей ступени должно быть больше времени срабатывания третьей ступени смежной линии

$$t_{C,3}^{III,A} \geq t_{C,3}^{III,B} + \Delta t, \quad (1.10)$$

где $t_{C,3}^{III,A}$ — время срабатывания третьей ступени защиты (рис. 3) подстанции А; $t_{C,3}^{III,B}$ — время срабатывания третьей ступени защиты подстанции Б; Δt — ступень селективности, обычно $\Delta t = 0,5$ с. В общем случае время третьей ступени записывается:

$$t_{C,3}^{III,n} \geq t_{C,3}^{III,n-1} + \Delta t \quad (1.11)$$

Чувствительность защиты оценивается для зоны ближнего резервирования (для линии, на которой она установлена):

$$k_{Ч} = \frac{I_{K1,MIN}}{I_{C,3}^{III,A}} \geq 2 \quad (1.12)$$

и для зоны дальнего резервирования (для смежной линии):

$$k_q = \frac{I_{K3,MIN}}{I_{C,3}^{III,A}} \geq 1,2 . \quad (1.13)$$

Карта селективности

Если ток срабатывания, быстроту срабатывания и чувствительность можно оценить количественно, то для оценки селективности количественного критерия нет. Чтобы сравнить между собой защиты по селективности действия чертится карта селективности (рис.5). Действия защит селективны, если их характеристики не пересекаются.

Область применения. Токовые защиты используются в основном для защиты линий электропередачи напряжением 6–35 кВ, реже 110 кВ с односторонним питанием. Они чувствительны ко всем многофазным КЗ.

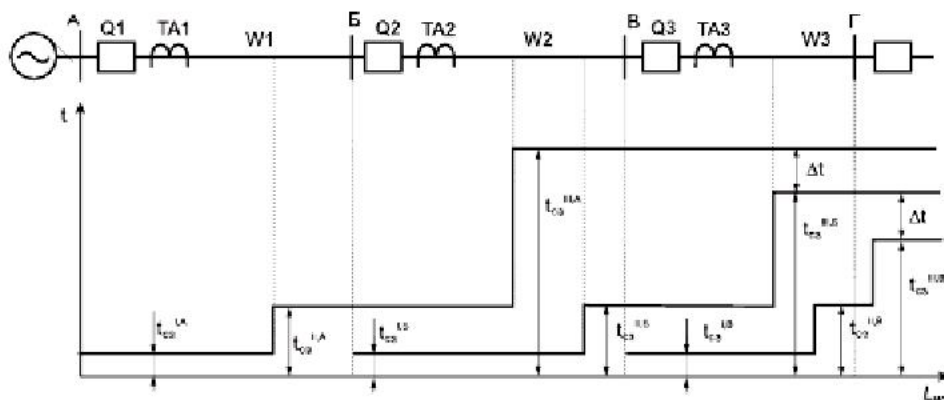


Рисунок 5. Карта селективности

Дополнительные указания

1. Расчет токов к з. произвести упрощенно без учета влияния нагрузки для момента времени $t=0$. Сверхпереходной ток при двухфазных КЗ вычислять по формуле $I_K^2 = 0,866 I_K^{(3)}$.

2. При определении токов срабатывания максимальной токовой защиты необходимо учесть увеличение токов нагрузки за счет самозапуска электродвигателей после отключения короткого замыкания в сети

3. Если при проверке чувствительности максимальной токовой защиты кратность тока в реле по отношению к току срабатывания будет не меньше 1,5 при к. з. на защищаемом участке и 1,2 на резервируемом, то можно считать, что защита удовлетворяет требованиям чувствительности.

4. Выбор тока срабатывания токовой отсечки производить исходя из отстройки от максимального значения тока к. з. в конце защищаемой линии. Зоны действия отсечек определить графически по кривой изменения тока к.з. для данной линии. Для построения плавной кривой изменения тока к. з вдоль линии $I_K^{(3)} = f(I)$ необходимо рассчитать токи на расстоянии 0,0,25; 0,5; 0,75; 1 длины каждой линии.

5. Для вариантов с ЛЭП 110 кВ следует кратко рассмотреть принцип действия и выбор параметров ступенчатой токовой защиты нулевой последовательности. Для вариантов с ЛЭП 6-10 кВ привести описание защит от однофазных замыканий на землю в

предположении, что линии 35 кВ — воздушные, а линии 6 (10) кВ — кабельные или имеют кабельные вставки.

6. Для выбранных защит ЛЭП 6-10 кВ желательно применять переменный оперативный ток, что позволяет существенно упростить и удешевить защиты

Таблица1 Исходные данные к домашней контрольной работе №1

Номер вари- анта	Номина- льное напряже- ние сети, кВ	Мощность КЗ на шинах ПС. тыс кВА	Длина линии км		Нагрузка ПС, МВА		Выдержка времени токовой защиты выключателя, с	
			Л-1 / Л-2		Н-1 / Н-2		Q-1 / Q-2	
1	110	2000	40	60	20	10	1	0.2
2	110	750	60	50	25	20	1.5	0.7
3	35	300	14	8	7	5	15	0.5
4	35	400	12	7	6	в	1.2	0.3
5	35	500	10	10	5	5	1	0.2
6	10	275	5	9	2.5	3	0.5	0.2
7	10	250	7	4	3	2	1	0.3
8	10	200	6	3	3.5	2,5	1.5	0.5
9	6	200	6	6	3	2	1	0.3
10	6	150	5	4	2	1.5	1.3	0.4
11	110	1000	55	58	24	30	1,4	0.5
12	110	1800	54	56	23	20	0.9	0,9
13	110	1700	50	45	22	18	0.8	0.5
14	110	1750	45	52	21	17	0,7	0.7
15	110	1600	35	70	18	20	0,8	0,2
10	35	450	15	8	8	8	1.6	0.7
17	35	440	13	6	7	в	1.4	0.8
18	35	380	11	11	6	6	1.2	0,6
19	35	350	8	9	5	8	1	0,3
20	35	330	7	12	4	4	1	0.25
21	10	270	8	8	3.5	4	0.78	0.3
22	10	285	7	5	3.3	3	0.7	0.2
23	10	280	6	10	2.8	2	0.56	0.4
24	10	230	5	7	2.5	4	0.5	0.5
25	10	220	3	3	2.2	2	0.5	0.3
26	6	190	6	8	3.3	3	1.5	0.5
27	6	185	5	5	3	1.5	1.4	0.4

28	6	180	4	3	1.9	1.5	1.3	0.7
29	6	170	4	7	1.4	1.1	1.1	0.2
30	6	180	4	4	1	1	1	0.25

Далее необходимо ответить на вопросы в соответствии с вариантом

Вопросы для контрольного задания №1

Вариант 1

Назовите требования, предъявляемые к современной релейной защите, и дайте им определение. Объясните назначение релейной защиты.

Назовите требования, предъявляемые к современной релейной защите, и дайте им определение. Объясните назначение релейной защиты.

Вариант 2

Опишите принцип выполнения максимальной токовой защиты линий с односторонним питанием. Объясните принцип выбора тока срабатывания и выдержек времени защиты и назначение отдельных реле, для схемы максимальной токовой защиты на переменном оперативном токе

Вариант 3

Дайте описание видов повреждений и ненормальных режимов работы в электроустановках. Приведите упрощенные векторные диаграммы токов для различных видов коротких замыканий.

Вариант 4

Объясните принцип выбора выдержек времени срабатывания и характеристики МТЗ.

Вариант 5

Перечислите и начертите схемы включения трансформаторов тока и обмоток реле. Дайте им краткую характеристику

Вариант 6

Опишите принцип выполнения максимальной токовой защиты линий на переменном оперативном токе

Вариант 7

Приведите параметры трансформаторов тока. Объясните как производится выбор трансформаторов тока для устройств РЗА.

Вариант 8

Перечислите и начертите схемы соединения обмоток трансформаторов напряжения. Дайте им краткую характеристику.

Вариант 9

10 Дайте общее описание конструкции электромагнитного реле, объясните принцип его действия, дайте определение тока срабатывания, ток возврата, коэффициента возврата. Перечислите способы регулирования тока срабатывания электромагнитных реле.

Вариант 10

Дайте описание конструкции и способам регулировки параметров срабатывания реле напряжения РН-50 и реле тока РТ-40.

Вариант 11

Дайте описание конструкции и способам регулировки параметров срабатывания индукционного реле тока типа РТ-80.

Вариант 12

Опишите принцип выполнения максимальной токовой защиты с пуском от реле минимального напряжения и объясните назначение отдельных реле и их взаимодействие, для схемы максимальной токовой защиты с пуском от реле минимального напряжения на постоянном оперативном токе

Вариант 13

Опишите принцип действия токовой отсечки на линиях с односторонним питанием. Приведите расчетные формулы для определения тока срабатывания защиты. поясните как формируется зона защиты и дать оценку ее эффективности.

Вариант 14

Опишите принцип действия токовой отсечки на линиях с двухсторонним питанием. Приведите расчетные формулы для определения тока срабатывания защиты. поясните как формируется зона защиты и дать оценку ее эффективности.

Вариант 15

. Опишите принцип действия направленной максимальной токовой защиты. Назовите основные органы защиты и дать им характеристику и объясните назначение отдельных реле и их взаимодействие для схемы направленной максимальной токовой защиты

Вариант 16

Дайте описание конструкции индукционного реле направления мощности. Назовите схемы включения реле направления мощности.

Вариант 17

Опишите принцип выполнения защиты кабельной линии от замыканий на землю, реагирующей на естественный емкостной ток замыкания на землю. Приведите расчетную формулу для определения тока срабатывания защиты.

Вариант 18

Дайте описание устройству и особенностям конструкции трансформатора тока нулевой последовательности ТНП

Вариант 19

Дайте описание конструкции, и способам регулировки уставок срабатывания реле тока РТЗ-51

Вариант 20

Опишите принцип выполнения устройства сигнализации от замыканий на землю типа УСЗ-2. реагирующей на высшие гармонические составляющие тока и объясните как регулируются его уставки срабатывания

Вариант 21

Дайте описание назначению устройству и особенностям конструкции промежуточных реле , работающих на постоянном и переменном оперативном токе .быстродействующих и с замедлением

Вариант 22

Дайте описание назначению устройству и особенностям конструкции электромеханических и полупроводниковых реле времени .

Вариант 23

Дайте описание назначению отдельных узлов . особенностям конструкции и способам регулировки уставок срабатывания полупроводникового реле тока РСТ-13

Вариант 24

Дайте описание назначению отдельных узлов, и способам регулировки уставок срабатывания полупроводникового реле напряжения РСН-14.

Вариант 25

Опишите область применения и принцип действия дистанционной защиты линий. Приведите расчетные формулы для выбора параметров срабатывания трехступенчатой дистанционной защиты .

Вариант 26

Опишите принцип действия и способы регулировки уставок срабатывания дистанционного реле . приведите его характеристику срабатывания .

Вариант 27

Дайте описание принципам выполнения ступенчатых токовых защиты нулевой последовательности линий. Приведите расчетные формулы для выбора параметров срабатывания ступеней защит. Укажите назначение отдельных реле защиты .

Вариант 28

Дайте описание принципам выполнения и действия продольной дифференциальной защиты линии с циркулирующими токами Укажите причину появления токов небаланса. Дайте оценку и назовите область применения защиты

Вариант 29

Опишите принцип выполнения направленной поперечной дифференциальной защиты двух параллельных линий. Укажите назначение отдельных реле приведенных на принципиальной схеме защиты

Вариант 30

Объясните причину каскадного действия .наличие мертвой зоны и необходимость автоматической блокировки , направленной поперечной дифференциальной защиты двух параллельных линий

Вариант 31

Чем обусловлены токи в месте повреждения при однофазном замыкании на землю в сети с малыми токами замыкания на землю?

Вариант 32

Какие процессы происходят в сетях с малым током замыкания на землю при возникновении замыкания на землю?

Вариант 33

Какие выполняются защиты от замыкания на землю в некомпенсированных и компенсированных сетях?

Вариант 34

Какие недостатки у трехтрансформаторных фильтров тока нулевой последовательности, какие преимущества однотрансформаторных фильтров тока нулевой последовательности (ТНП)?

Вариант 35

Каким образом можно исключить влияние токов, проходящих по броне кабелей, на работу защиты?

Вариант 36

В каких случаях используется направленная защита нулевой последовательности?

Вариант 37

Приведите расчетные формулы для выбора параметров срабатывания и проверки чувствительности направленной поперечной дифференциальной защиты двух параллельных линий

Вариант 38

В чем заключается принцип действия продольной дифференциальной защиты с циркулирующими токами ?

Вариант 39

Что называется током небаланса продольной дифференциальной защиты и чем он обусловлен?

Вариант 40

Как уменьшаются токи небаланса или как ослабляется их влияние в схемах, дифференциальной защиты?

Вариант 41

В чем заключается принцип действия поперечной дифференциальной токовой защиты?

Вариант 42

Изобразите принципиальную схему поперечной дифференциальной токовой, защиты?

Вариант 43

Где располагается мертвая зона поперечной дифференциальной защиты линий присоединяемых к сборным шинам через общие выключатели? Чем она обусловлена?

Вариант 44

Изобразите принципиальную схему поперечной дифференциальной направленной токовой защиты.

Вариант 45

Чем обусловлена мертвая зона и зона каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты и где они располагаются?

Вариант 46

Почему поперечную дифференциальную и поперечную дифференциальную направленную защиту нужно выводить из действия при отключении одной из линий и как это делается?

Вариант 47

Перечислите достоинства и недостатки дифференциальных защит.

Вариант 48

Дайте описание конструкции полупроводникового реле направления мощности типа РМ-11

Вариант 49

Назовите схемы включения реле направления мощности.

Вариант 50

Дайте описание назначению устройству и особенностям конструкции электромеханических и полупроводниковых реле времени .

Вариант 51

Опишите принцип действия токовой отсечки на линиях с односторонним питанием. Приведите расчетные формулы для определения тока срабатывания защиты . поясните как формируется зона защиты и дать оценку ее эффективности.

Вариант 52

Опишите принцип действия токовой отсечки на линиях с двухсторонним питанием. Приведите расчетные формулы для определения тока срабатывания защиты . поясните как формируется зона защиты и дать оценку ее эффективности.

Вариант 53

Опишите принцип действия направленной максимальной токовой защиты. Назовите основные органы защиты и дать им характеристику и объясните назначение отдельных реле и их взаимодействие для схемы направленной максимальной токовой защиты

Домашняя контрольная работа 2

В этой работе необходимо разработать релейную защиту понижающего трансформатора от всех видов повреждений для расчетных режимов работы систем и релейную защиту асинхронного двигателя. Однолинейная схема подстанции представлена на рис.1.

Работу следует выполнять в следующем объеме.

1. Выбрать места установки релейных защит трансформатора.
2. Выбрать типы трансформаторов тока и их коэффициенты трансформации исходя из параметров. защищаемых трансформаторов Проверку выбранных трансформаторов тока на электродинамическую и термическую стойкость не выполнять.
3. Рассчитать токи коротких замыканий, необходимые для выбора уставок и проверок чувствительности разрабатываемых защит.
4. Определить уставки защит трансформаторов от многофазных коротких замыканий (основных и резервных) и выбрать типы реле.
5. Проверить чувствительность каждой защиты.
6. Представить описание защит от однофазных к. з. и от однофазных замыканий на землю трансформатора
7. Составить полную трехлинейную схему выбранных защит трансформаторов.

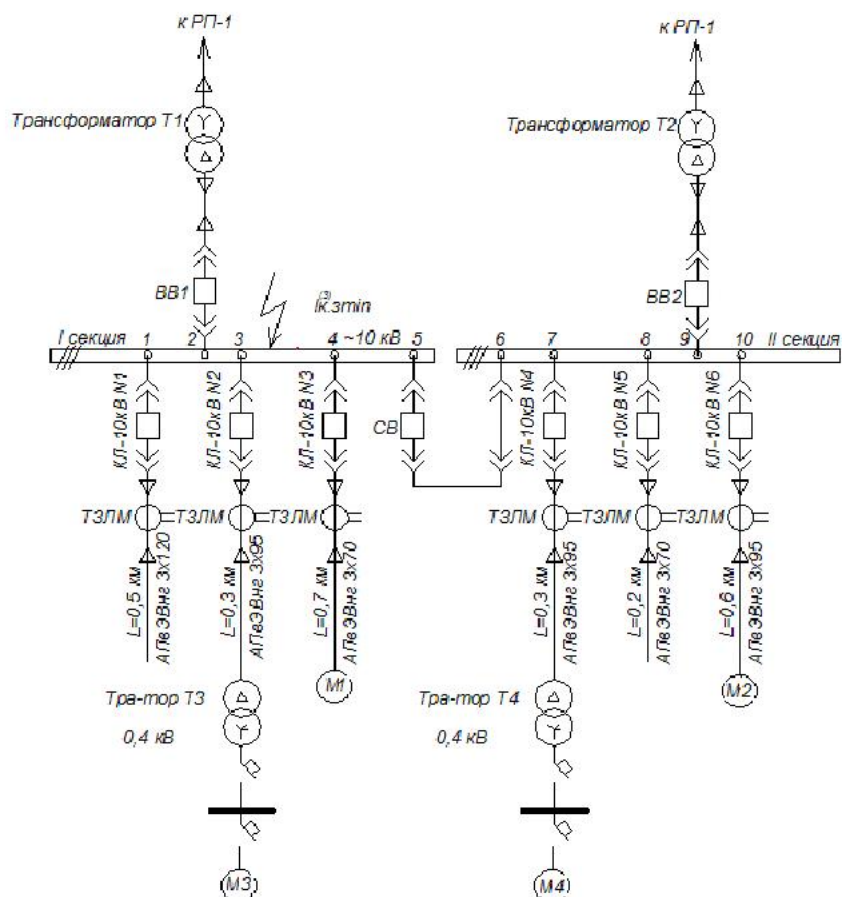


Рис.1 – Однолинейная схема подстанции 10 кВ

Данные трансформаторов ,необходимые для расчёта сведены в таблицу 2

Таблица2 Исходные данные к заданию1 контрольной работы №2

Тип трансформатора		Сно м, кВА	Уном ВН ₁ кВ	Уном НН ₁ кВ	$\pm\Delta U\%$	I _{кзвн} ₁ кА	U _к %	Вариант
T1,T2	T3,T4							
-	ТМ-100	100	10.50	0.40	-	7,5	4.50	1
ТДН - 10000/10	-	10000	115	11	16		10,5	2
-	ТМ-160	160	10.50	0.40	-	12	4.90	3
ТДН - 16000/10	-	16000	115	11	16		10,5	4
-	ТS-400	400	10.50	0.40	-	11,47	4.50	5
ТРДН- 25000/10	-	25000	115	11-11	16		10,5	6
-	ТМ-630	630	10.50	0.40		16,5	5.60	7

ТРДН-32000/10	-	32000	115	11-11	16		10,5	8
-	ТМ-320	320	10.50	0.40	-	10	5.50	9
ТРДН-40000/10	-	40000	115	10,5-10,5	16		10,5	10
-	ТМ-1000	1000	6.3	0.40	-	19,26	4.50	11
ТРДН-63000/10	-	63000	115	10,5-10,5	16		10,5	12
-	ТСМА-200	200	10.50	0.40	-	6,5	5.50	13
ТМН-4000/35	-	4000	35	11	16		7,5	14
-	ТСМ-750	750	10.50	0.40	-	18	5.50	15
ТМН-6300/35	-	6300	35	11	16		7,5	16
ТДН-10000/35	-	10000	36,75	10,5	16		8	17
-	ТМ-180	180	10.50	0.40	-	14	5.50	18
ТДН-16000/35	-	16000	36,75	10,5	16		8	19
-	ТТУ-315	315	10.50	0.40	-	8,5	4.50	20
ТДН-25000/35	-	25000	36,75	10,5	16		8	21
-	ТТУ-250	250	10.50	0.40	-	6,8	5.50	22

Методические указания к выполнению домашней контрольной работы

Увеличение единичной мощности трансформаторов и автотрансформаторов, возрастание доли утяжеленных режимов, в которых они работают, и другие факторы предъявляют высокие требования к выбору и работе их релейной защиты и автоматики.

Основные функции защиты трансформаторов и автотрансформаторов состоят в следующем:

-отключение трансформатора (автотрансформатора) при его повреждении от всех источников питания;

- отключение трансформатора (автотрансформатора) от поврежденной части электроустановки при прохождении через него сверхтока в случаях повреждения шин или другого оборудования, связанного с трансформатором (автотрансформатором), а также при повреждениях смежных линий электропередачи или оборудования и отказах защит или выключателей;

-подача предупредительного сигнала дежурному персоналу подстанции (или электростанции) при перегрузке трансформатора (автотрансформатора), выделении из масла газа, понижении уровня масла, повышении его температуры.

Для защиты трансформаторов (автотрансформаторов) при их повреждении и сигнализации о нарушении нормальных режимов работы применяются следующие типы защиты:

От повреждений на выводах и внутренних повреждениях - токовая отсечка или отсечка или продольная дифференциальная защита. **Продольная дифференциальная защита** ставится на трансформаторах мощностью **6300 кВА и более**, на трансформаторах **меньшей мощности** - **токовая отсечка**.

Продольная дифференциальная защита - для защиты при повреждениях обмоток, вводов и ошиновки трансформаторов (автотрансформаторов);

токовая отсечка мгновенного действия - для защиты трансформаторов (автотрансформаторов) при повреждениях ошиновки, вводов и части обмотки со стороны источника питания;

Газовая - для защиты при повреждениях внутри бака трансформатора (автотрансформатора), сопровождающихся выделением газа, а также при понижении уровня масла;

от сверхтоков, проходящих через трансформатор (автотрансформатор) при повреждении как самого трансформатора (автотрансформатора), так и других связанных с ним элементов—**максимальная токовая** или **максимальная токовая направленная защита**, реагирующая на фазные токи, а также на токи обратной последовательности, **максимальная токовая защита** с пуском минимального напряжения, **дистанционная защита**; от замыкания на корпус **максимальная токовая** или **максимальная токовая направленная защита** реагирующая на токи нулевой последовательности; от перегрузки **максимальная токовая защита** .

Основные условия выбора продольной дифференциальной защиты

Эти условия определяют расчетные режимы и требования, предъявляемые к защите в зависимости от параметров трансформатора или автотрансформатора:

1) **Продольная дифференциальная защита** применяется для трансформаторов мощностью 6,3 МВА и выше, а также для всех автотрансформаторов (при мощности трансформатора менее 6,3 МВА применяется **токовая отсечка** в сочетании с **МТЗ**). Защита выполняется с использованием дифференциальных реле типа **РНТ** и **ДЗТ** с насыщающимися трансформаторами.

Реле типа **РНТ-565** – **РНТ-567** обеспечивают повышенную отстройку от переходных режимов с апериодической слагающей, а реле типа **ДЗТ-11** – **ДЗТ-14**

обеспечивают повышенную отстройку от периодических токов небаланса.

Выбор типа реле определяется расчетом. Для двухобмоточных трансформаторов используется двухрелейная схема защиты, для трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов - трехрелейная схема на стороне низшего напряжения, для повышения чувствительности **ТТ** соединяются в полную звезду.

2) Для выбора тока срабатывания защиты по условиям отстройки от тока небаланса рассматриваются такие режимы, при которых **ток небаланса будет наибольшим**. Выбор расчетных условий определяется параметрами системы. Для трансформаторов и автотрансформаторов с односторонним питанием расчетными являются трехфазные к.з. на шинах среднего и низшего напряжений (**СН** и **НН** точки **К1** и **К2**(рис.6.) При двухстороннем питании расчетной может быть и точка к.з. на шинах высшего напряжения (**ВН** точка **К3**,6).

3) Для проверки чувствительности рассматриваются такие режимы, при которых **чувствительность будет минимальной**. При одностороннем питании коэффициент чувствительности проверяется при внутреннем двухфазном к.з. на сторонах **СН** и **НН** в минимальном режиме работы системы (**точка К4 и К5, рисунок 6.**). При двухстороннем питании расчетной по чувствительности может оказаться однофазное или двухфазное к.з. на стороне **ВН** (**точка К6, рисунок 6.**).

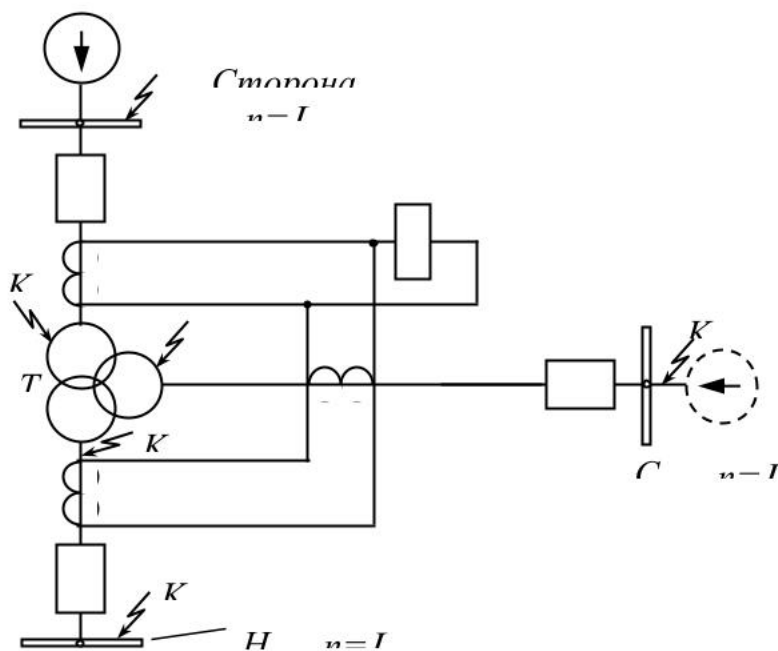


Рис.6. Поясняющая схема к расчету дифференциальной защиты трансформатора.

Заметим, что при нескольких трансформаторах на подстанции расчетным является режим раздельной работы. Это справедливо как для проверки чувствительности, так и для выбора тока срабатывания.

Предварительный расчет защиты и выбор типа реле

Первоначально определяется ток срабатывания защиты с реле РНТ по большему, исходя из двух условий:

а) **Отстройка от броска тока намагничивания**, возникающего при включении трансформатора или автотрансформатора на холостой ход или при восстановлении напряжения после отключения к.з.

$$I_{с.з.} = K_{отс} I_{НОМ} , \quad (2.1)$$

где $K_{отс} = 1,3$ – коэффициент отстройки для реле **РНТ**;

$I_{НОМ}$ – номинальный ток той стороны трансформатора, напряжение которой принято в качестве расчетной; для автотрансформаторов при определении $I_{НОМ}$, берется типовая мощность.

б) Отстройка от максимального тока небаланса, возникающего при внешних к.з.

$$I_{с.з.} \geq K_3 I_{НБ.РАСЧ.} , \quad (2.2)$$

где $K_3 = 1,3$ – коэффициент запаса по избирательности;

$I_{НБ.РАСЧ.}$ – максимальный расчетный ток небаланса, определяемый как сумма трех составляющих, пропорциональных периодической слагающей тока к.з.

$$I_{НБ.РАСЧ.} = I'_{НБ.РАСЧ.} + I''_{НБ.РАСЧ.} + I'''_{НБ.РАСЧ.} \quad (2.3)$$

Составляющая $I'_{НБ.РАСЧ.}$ – обусловлена погрешностью трансформаторов тока:

$$I'_{НБ.РАСЧ.} = K_{ОДН} \varepsilon I_{К.З.МАКС.} \quad (2.4)$$

где $K_{ОДН} = 1,0$; $\varepsilon = 0,1$; $I_{К.З.МАКС.}$ – максимальный ток внешнего к.з., приведенный к расчетной ступени напряжения.

Составляющая $I''_{НБ.РАСЧ.}$ – обусловлена регулировкой коэффициента трансформации силового трансформатора (автотрансформатора) после того, как защита была сбалансирована на средних отпайках. Эта составляющая определяется как сумма токов небаланса на сторонах, где имеется регулирование:

$$I''_{НБ.РАСЧ.} = \sum_{n=1}^i \Delta U I_{N К.З.МАКС.} , \quad (2.5)$$

где ΔU – относительная погрешность регулировки, принимается равной половине диапазона регулирования сторон n трансформатора (если регулирование $\pm 10\%$, то $\Delta U = 0,1$). $I_{N К.З.МАКС.}$ – максимальный периодический ток, протекающий по стороне n трансформатора.

Составляющая $I'''_{НБ.РАСЧ.}$ – обусловлена неточностью установки на реле расчетных чисел витков:

$$I'''_{НБ.РАСЧ.} = \sum_{n=1}^i \Delta \omega n I_{N К.З.МАКС.} , \quad (2.6)$$

где $\Delta \omega = \frac{\omega_{N РАСЧ} - \omega_N}{\omega_{N РАСЧ}}$ – погрешность выравнивания для стороны n ; $\omega_{N РАСЧ}$ и ω_N стороны –

расчетные и фактические числа витков для стороны n трансформатора. При предварительном расчете эта составляющая не учитывается.

в) Выбор типа реле производится на основе оценки чувствительности защиты, которая определяется приближенно, полагая, что весь ток повреждения (приведенный ко вторичной стороне) попадает в реле.

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з.мин}}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 2. \quad (2.7)$$

Если чувствительность оказывается достаточной, то продолжают расчет защиты с реле РНТ. В процессе расчета уставок реле уточненный ток срабатывания (с учетом $I'''_{\text{НБ.РАСЧ}}$) может оказаться больше предварительно найденного, а чувствительность защиты недостаточной. В этом случае проверяется возможность снизить ток срабатывания за счет составляющих $I'_{\text{НБ.РАСЧ}}$ и $I''_{\text{НБ.РАСЧ}}$.

Составляющую $I''_{\text{НБ.РАСЧ}}$ можно не учитывать, если регулирование коэффициента трансформации силового трансформатора производится редко. В этом случае расчет уставок реле производится для каждого положения переключателя напряжения (обычно для верхнего и низшего ответвлений). При изменении положения переключателя должна изменяться и уставка, выполняемая на реле. Составляющую $I'''_{\text{НБ.РАСЧ}}$ можно уменьшить за счет более рационального выбора числа витков реле путем изменения коэффициентов трансформации ТТ отдельных сторон силового трансформатора.

Если дифференциальная защита с реле РНТ не обеспечивает необходимой чувствительности, а расчетной является отстройка от тока небаланса, то принимают реле типа ДЗТ, имеющее магнитное торможение от сквозного тока к.з.

г) При выборе тока срабатывания защита с реле ДЗТ в выражении (4.1) принимается $K_0 = 1,5$, а в (4.2) – $K_3 = 1,5$. Причем, в качестве расчетного рассматривается внешнее к.з., при котором торможение отсутствует.

Выбор уставок реле РНТ

Определение числа витков, устанавливаемых на реле, производится в следующем порядке:

а) Определяются вторичные номинальные токи сторон трансформатора:

$$I_{\text{нНОМ}} = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_{\text{нНОМ}}} \quad (2.8)$$

где $I_{\text{нНОМ}}$ - номинальный ток стороны n трансформатора; $K_{\text{сх}}$ - коэффициент схемы соединения вторичных обмоток ТТ (при соединении обмоток в звезду $K_{\text{сх}} = 1,0$; при соединении в треугольник $K_{\text{сх}} = \sqrt{3}$); $n_{\text{ТТ}n}$ - принятый ТТ на стороне n трансформатора (при выборе коэффициента ТТ надо учитывать, что вторичные номинальные токи не должны существенно превышать 5А). Все эти данные удобно представить в виде таблицы. Сторона с наибольшим током принимается в качестве основной.

б) Определяется ток срабатывания реле для основной стороны трансформатора

$$I_{\text{ср}n} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}} \left(\frac{U_{\text{НОМ.Р}}}{U_{\text{нНОМ}}} \right)}{n_{\text{ТТ}n}} \quad (2.9)$$

где $U_{\text{НОМ.Р}}$ - номинальное напряжение стороны, соответствующей расчетной ступени напряжения.

Если расчет защиты выполняется для разных положений переключателя напряжения трансформатора, то это учитывается при определении тока срабатывания защиты введением коэффициента $K_{\text{Р}} = (1 \pm \Delta U)$ в числитель выражения (2.9).

в) Находится расчетное число витков для основной стороны:

$$\omega_{OCH.PACЧ} = \frac{F_{CP}}{I_{CP}} \quad (2.10)$$

Если расчетное число витков оказывается дробным, то принимается ближайшее меньшее целое значение ω_{OCH} .

г) Расчетные числа витков для других сторон защиты выбираются по условиям баланса на реле м.д.с. плеч защиты при внешнем к.з. или нормальном режиме (рисунок 7):

$$I_{I.B.H.} \omega_I = I_{II.B.H.} \omega_{II} = I_{III.B.H.} \omega_{III} \quad (2.11)$$

откуда

$$\omega_{N.PACЧ} = \omega_{OCH} \left(\frac{I_{OCH.B.H.}}{I_{n.B.H.}} \right) \quad (2.12)$$

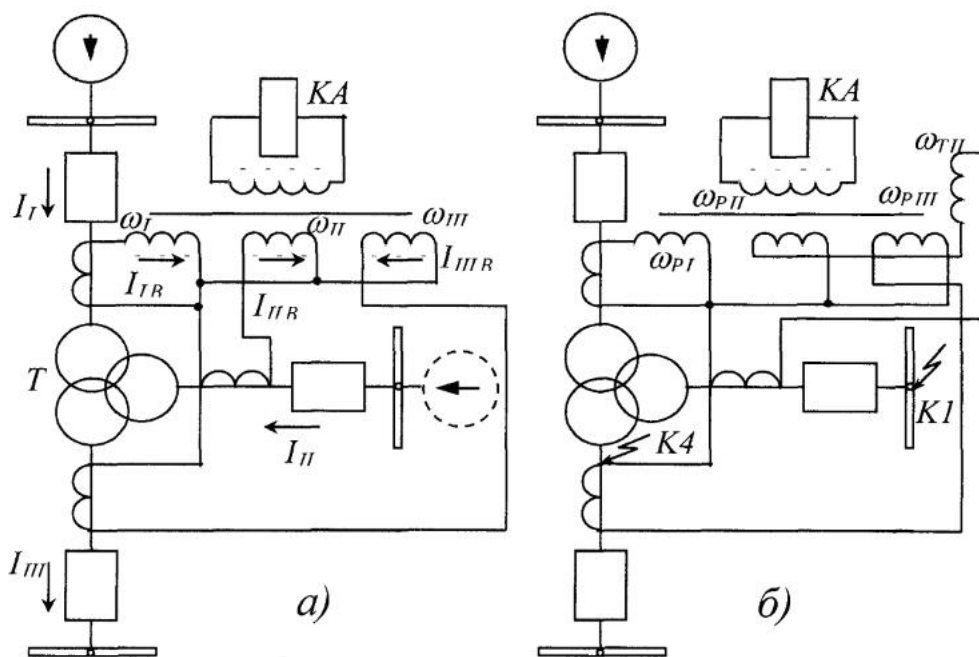


Рисунок 7 Упрощенные схемы дифференциальных защит с реле РНТ и ДЗТ.

Для неосновных сторон к установке на реле принимается ближайшее целое значение ω_n .

д) Находится ток срабатывания защиты с учетом составляющей $I'''_{нБ.РАСЧ}$ при к.з. на той стороне, где ток небаланса наибольший, и уточняется по выражению (2.9) ток срабатывания реле.

Если полученное значение тока срабатывания окажется больше ранее найденного, то число витков на основной стороне принимается на один меньше, а для неосновных сторон принимается ближайшее целое число витков.

Расчет повторяется до тех пор, пока не выполнится условие:

$$I_{CPi} \leq I_{CP(i-1)}, \quad (2.13)$$

где i - номер варианта расчета при изменении ω_{OCH} .

е) Чувствительность защиты проверяется при внутренних к.з. в расчетных точках:

$$K_q = \sum_{n=1}^{III} \frac{I_{nB} \omega_N}{F_{C.P.}} \geq 2 \quad (2.14)$$

где I_{nB} - вторичный ток плеча защиты со стороны n трансформатора при расчетном к.з. (определяется по схемам токораспределения). Практически при сбалансированных м.д.с.

плеч защит коэффициент чувствительности может быть определен по первичным токам с погрешностью менее 10%:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз мин}}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 2 \quad (2.15)$$

Выбор уставок реле ДЗТ

При использовании реле **ДЗТ-11** тормозную обмотку включают обычно на той стороне, к.з. на которой дает наибольший ток небаланса (например, точка **К1** рисунок 7). При этом указанный ток небаланса при выборе тока срабатывания не учитывается.

Определение числа витков $\omega_{\text{рп}}$, которые устанавливаются на рабочих обмотках разных сторон для обеспечения баланса м.д.с. на реле, производится также как и для реле **РНТ**.

Число витков тормозной обмотки, обеспечивающее надежную отстройку реле от тока небаланса, при данном виде к.з. определяется как:

$$\omega_{\text{нТ}} = \frac{K_3 I_{\text{НБ.РАСЧ}}}{I_{\text{нТ}}} \cdot \frac{\omega_{\text{нР}}}{\text{tg} \alpha}, \quad (2.16)$$

где $K_3 = 1,5$; $I_{\text{нТ}}$ – первичный тормозной ток стороны n трансформатора; $\text{tg} \alpha = 0,87$ – тангенс угла наклона касательной, проведенной из начала координат и нижней расчетной по избирательности тормозной характеристики, (рис.4.3).

Проверка чувствительности защиты при внутренних повреждениях без торможения производится так же, как и для реле **РНТ**:

$$K_{\text{ч}} = \left(\sum_{n=1}^{\text{III}} I_{\text{нВ}} \omega_n \right) / F_{\text{с.р.о}}, \quad (2.17)$$

где $F_{\text{с.р.о}}$ – м.д.с. срабатывания реле **ДЗТ** при отсутствии торможения. Заметим, что коэффициент чувствительности может быть определен приближенно по первичным токам.

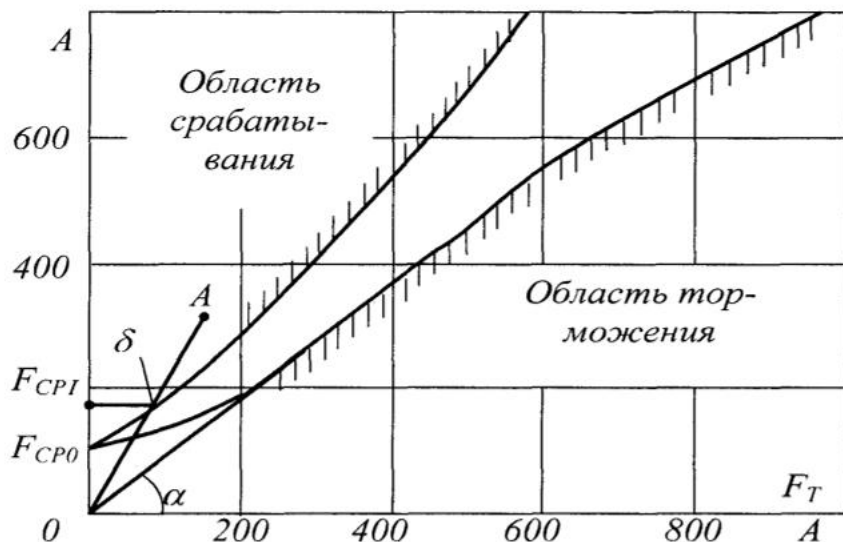


Рис. 8. Тормозные характеристики реле ДЗТ-11

Проверка чувствительности защиты при внутренних повреждениях с торможением производится следующим образом. Первоначально определяется рабочая и тормозная м.д.с., подводимые к реле при расчетном к.з.

$$F_P = \sum_{n=1}^{\text{III}} I_{\text{нВ}} \omega_n ; \quad F_T = \sum_{n=1}^{\text{III}} I_{\text{нВ}} \omega_{\text{нТ}} .$$

Для реле ДЗТ-11, имеющего одну тормозную обмотку на стороне n трансформатора $F_T = I_{NB} \omega_{mn}$. В дальнейшем, на чертеже тормозной характеристики откладывают точку $A(F)$, соответствующую внутреннему к.з. с торможением. Точку A соединяют с началом координат прямой линией.

Пересечение этой линии с верхней расчетной по чувствительности тормозной характеристикой дает точку B (рис. 8). Проекция точки B на ось ординат дает м.д.с. срабатывания реле при наличии торможения для данного расчетного режима.

Коэффициент чувствительности определяется как

$$K_{\eta} = \frac{F_P}{F_{C.P.T}} \geq 1.8. \quad (2.18)$$

Выбор уставок токовой отсечки

Для обеспечения требований селективности ее ток срабатывания

Отстраивается: от тока трехфазного короткого замыкания на шинах низшего напряжения

$$I_{C3} \geq k_{\eta} I_{кз. макс. к_1}^{(3)}$$

от броска тока намагничивания, возникающего при включении трансформатора на холостой ход или при восстановлении напряжения после отключения к.з.

$$I_{C3} = K_{отс} I_{ном}, \quad (2.19)$$

Чувствительность отсечки проверяется по току двухфазного короткого замыкания на вводах трансформатора со стороны источника питания.

$$k_{\eta} = \frac{I_{кз. мин. к}^{(2)}}{I_{C3}} \geq 2.$$

Резервные защиты трансформаторов и автотрансформаторов

Резервные защиты резервируют основные защиты и реагируют на внешние к.з., действуя на отключение с двумя выдержками времени: с первой выдержкой времени отключается выключатель одной из сторон низшего напряжения (обычно той, где установлена защита), со второй - все выключатели объекта. Резервные защиты от междуфазных повреждений имеют несколько вариантов исполнения:

- 1) **МТЗ** без пуска по напряжению;
- 2) **МТЗ** с комбинированным пуском по напряжению;
- 3) **МТЗ** обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных к.з.

Резервные защиты от замыкания на землю выполняются в виде **МТЗ** нулевой последовательности.

Выбор схем резервных защит

Выбор схем защит производится в зависимости от типа защищаемого оборудования (трансформатор или автотрансформатор) и числа обмоток, а также от схемы питания (одностороннее, двухстороннее).

- 1) В качестве резервной защиты от междуфазных повреждений для трансформаторов применяется **МТЗ** с пуском или без пуска по напряжению в зависимости от

чувствительности защиты. Пуск по напряжению выполняется комбинированным, аналогично соответствующей защите генератора.

Для двухобмоточных трансформаторов **МТЗ** выполняется в двухрелейном исполнении с соединением **ТТ** в треугольник для повышения чувствительности. Первоначально рассчитывается **МТЗ** без пуска по напряжению, а если чувствительность защиты мала, то применяется пуск по напряжению со стороны **НН**. Если на стороне **НН** устанавливается сдвоенный реактор, то за реактором предусматривается отдельная **МТЗ**.

Для трехобмоточных трансформаторов с односторонним питанием **МТЗ** устанавливается на стороне питания и выполняется в трехфазном трехлинейном исполнении. Для обеспечения чувствительности комбинированный пуск по напряжению может осуществляться со стороны **СН** и **НН**. Защита действует на отключение с двумя выдержками времени: с первой выдержкой времени обычно отключается сторона **СН**, со второй - все выключатели трансформатора.

Для трехобмоточных трансформаторов с двухсторонним питанием **МТЗ** (как правило, с пуском по напряжению) устанавливается на каждой стороне трансформатора и предназначается, в основном, для резервирования защит присоединений своей стороны.

2) Выбор резервной защиты от междуфазных повреждений для автотрансформаторов зависит от схемы питания.

Для автотрансформаторов с односторонним питанием на стороне питания устанавливается **МТЗ** с комбинированным пуском по напряжению; для обеспечения чувствительности пуск по напряжению может осуществляться со стороны **СН** и **НН**. Эта защита действует с двумя выдержками времени: с первой выдержкой времени обычно отключается выключатель со стороны **СН**, со второй - все выключатели автотрансформатора. Кроме того, на стороне **НН** предусматривается **МТЗ** с пуском или без пуска по напряжению.

Для автотрансформаторов с двухсторонним питанием на стороне **ВН** устанавливается **МТЗ** обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных к.з. с включением блокирующих реле на сторонах **ВН** и **СН**. Защита действует на отключение с двумя выдержками времени: с первой отключается выключатель стороны **СН**, со второй - все выключатели автотрансформатора. Для повышения чувствительности к к.з. на стороне **СН** и сохранения питания потребителей стороны **НН** эта защита может выполняться направленной с первоочередным отключением выключателя стороны **ВН**. На стороне низшего напряжения предусматривается **МТЗ** с пуском или без пуска по напряжению.

3) В качестве резервной защиты от замыканий на землю принимается **МТЗ** нулевой последовательности.

Для трансформаторов защита от замыканий на землю устанавливается на стороне с глухозаземленной нейтралью только при наличии питания. Защита каждой стороны выполняется двухступенчатой и содержит токовую отсечку и **МТЗ** нулевой последовательности. Отсечка предназначена для согласования первых ступеней защит смежных линий разных сторон автотрансформатора, **МТЗ** обеспечивает резервирование к.з. на выводах автотрансформатора, шинах и отходящих линиях. Каждая ступень защиты выполняется с двумя выдержками времени: с первой выдержкой времени отключается выключатель на стороне защиты, со второй - все выключатели автотрансформатора.

4) При выборе схем резервных защит оценку чувствительности производят при к.з. в конце зоны резервирования, где коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,2. При выполнении защиты функции и защиты шин коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5 (при к.з. на шинах в месте установки защиты).

МТЗ без пуска по напряжению

Ток срабатывания защиты отстраивается от максимального тока нагрузки.

$$I_{CЗ} = \frac{K_3 K_C I_{НАГР.МАКС}}{K_B}, \quad (2.20)$$

где $K_3=1,2$ - коэффициент запаса по избирательности; $K_B=0,8$ - коэффициент возврата реле **РТ-40**; $K_C=1,5 - 2,5$ - коэффициент самозапуска электродвигателей (может быть определен расчетом); $I_{НАГР.МАКС}$ - максимальный ток нагрузки, обычно принимается равным номинальному току трансформатора.

При выполнении курсового проекта чувствительность защиты можно определить по двухфазному к.з. на шинах трансформатора.

МТЗ с комбинированным пуском по напряжению

Расчет защиты выполняется аналогично защите генератора. Отличие имеется в выборе уставки срабатывания блокирующего реле, включенного на междуфазное напряжение.

$$U_{CЗ} = \frac{U_{МИН}}{K_B K_3}, \quad (2.21)$$

где $U_{МИН}$ - расчетное напряжение на шинах после отключения внешнего к.з. в условиях самозапуска; $K_3 = 1,2$; $K_B = 1,1$ - коэффициент возврата для реле минимального напряжения. Чувствительность защиты проверяется при к.з. на шинах **СН** и **НН**. При двухстороннем питании чувствительность целесообразно проверить и на стороне высшего напряжения.

МТЗ обратной последовательности

Ток срабатывания защиты выбирается из условий отстройки от тока обратной последовательности, протекающего через автотрансформатор при несимметричных к.з. в конце зоны действия той защиты, с которой производится согласование.

$$I_{2CЗ} \geq K_3 I_{2РАСЧ}, \quad (2.22)$$

где $K_3 = 1,2$ - коэффициент запаса по избирательности.

Кроме того, защита должна быть отстроена от неполнофазного режима работы сети. Приблизительно, с запасом можно принять:

$$I_{2CЗ} \geq 0,75 I_{НАГР.МАКС}, \quad (2.23)$$

где $I_{НАГР.МАКС}$ - максимальный ток нагрузки элемента, на котором рассматривается разрыв.

Чувствительность защиты обычно проверяется при двухфазном к.з. на шинах **СН** и **НН**.

МТЗ нулевой последовательности

Расчет защиты заключается в определении тока срабатывания отсечки для автотрансформаторов и тока срабатывания **МТЗ** для трансформаторов и автотрансформаторов:

1) Ток срабатывания отсечки отстраивается от максимального тока нулевой последовательности, протекающего через автотрансформатор при замыканиях на землю в

конце зоны действия первых ступеней земляных защит отходящих линий

$$I_{C.3.O.} \geq K_3 3I_{O.PACЧ}, \quad (2.24)$$

где $K_3 = 1,1 - 1,2$ - коэффициент запаса по избирательности.

2) Ток срабатывания МТЗ выбирается из условий согласования с чувствительными ступенями земляных защит отходящих линий. Кроме того, МТЗ должна быть отстроена от тока небаланса при внешних трехфазных к.з. на шинах подстанции

$$I_{C.3.O.} \geq K_3 I_{НБ.РАСЧ}, I_{НБ.РАСЧ} = K_A K_{ОДН} \varepsilon I_{КЗ.МАКС}, \quad (2.25)$$

где $K_3 = 1,25$; $K_A = 1,0 - 2,0$ - коэффициент, учитывающий наличие апериодической слагающей в токе к.з. ($K_A = 1,0$ при $t_{CЗ} > 0,1с$); $K_{ОДН} = 0,5 - 1,0$ - коэффициент однотипности ТТ; $\varepsilon = 0,1$ - относительная максимальная погрешность ТТ.

3) Чувствительность отсечки проверяется при к.з. на шинах в месте установки защиты

$$K_{\text{ч}} = \frac{3I_{O.КЗ}}{I_{CЗ}}. \quad (2.26)$$

Защиты, действующие на сигнал

К этим защитам относятся:

1) **Защита напряжения нулевой последовательности** от замыканий на землю на стороне низшего напряжения (**НН**), работающей в режиме с изолированной нейтралью; эта защита применяется при наличии синхронного компенсатора или когда возможна работа с отключенным выключателем на стороне низшего напряжения.

2) **МТЗ** от симметричного перегруза для трансформаторов с односторонним питанием устанавливается только со стороны питания (если одна из обмоток имеет мощность 60%, та защита от перегруза устанавливается и на этой стороне), для автотрансформаторов и трехобмоточных трансформаторов с двухсторонним питанием защита от перегруза устанавливается на каждой стороне объекта, а для трансформаторов еще и в нейтрали.

3) **Газовая защита**, действующая на сигнал при медленном выделении газа.

Дополнительные указания

1. Произвести расчет дифференциальной защиты трансформатора, а также параметров ее срабатывания и коэффициента чувствительности для расчетных режимов работы систем и вида КЗ; при этом в случае выполнения защиты с двумя или тремя реле тока расчет чувствительности производится для реле, по которому проходит наибольший ток повреждения.

2. Все расчеты параметров срабатывания и чувствительности защит, за исключением чувствительности некоторых устройств со сложными характеристиками (например, реле серии ДЗТ-11), производятся по первичным токам и напряжениям.

3. Приведенные указания даны в предположении, что полные погрешности трансформаторов тока, используемых для защиты, не превышают 10 % при внешних КЗ – для дифференциальной защиты и при КЗ в расчетной точке – для других защит (см. ПУЭ, п. 3.2.29.1).

4. Расчет токов КЗ для выбора параметров срабатывания и проверки чувствительности

защит должен производиться без учета изменения сопротивлений трансформаторов (автотрансформаторов) при регулировании напряжения под нагрузкой.

5. Все расчеты токов КЗ в целях упрощения производится для начального момента времени, при этом учитывается только периодическая составляющая тока.

Защита электродвигателей

Данные электродвигателей, необходимые для расчёта сведены в таблицу 3

Таблица3 Исходные данные ко второму заданию контрольной работы №2

Тип электродвигателя	Р _{но} м, кВт	U _{но} м, кВ	К _п	η%	cos φ	I _{cΣ} , А	Вариант
2А3М1-270/6000УХЛ4	270	6	4,5	95,6	0,92	4	1
2А3М1-355/6000УХЛ4	355	6	4,5	94,7	0,9	6	2
2А3М1-630/6000УХЛ4	630	6	4,5	94,7	0,9	8	3
2А3М1-4000/6000УХЛ4	4000	6	4,5	96,9	0,92	12	4
2А3М1-5000/6000УХЛ4	5000	6	4,5	97,2	0,9	13	5
4А200 М6У3	22	0,38	5	89	0,89	-	6
4А250 М6У3	55	0,38	6	91	0,89	-	7
4А280 S6У3	75	0,38	5,5	91,5	0,89	-	8
2А3М1-2000/6000УХЛ4	2000	6	5,7	95,5	0,91	9	9
2А3М1-800/6000УХЛ4	800	6	5,4	94,7	0,9	5	10
2А3М1-1000/6000УХЛ4	1000	6	6,2	94,8	0,9	7	11
2А3М1-38/6000УХЛ4	38	0,38	7	95	0,9	-	12
2А3М1-1250/6000УХЛ4	1250	6	6	95,3	0,89	12	13
4А280 М6У3	90	0,38	7	92,5	0,89	-	14
4А315S6У3	110	0,38	7	93	0,9	-	15

Защита электродвигателей выше 1кВ

На электростанциях в системе собственных нужд находят применение асинхронные и синхронные электродвигатели. Для большинства механизмов собственных нужд используются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, тип и мощность которых зависят от степени ответственности приводимых ими механизмов и от характеристики нагрузки.

Синхронные электродвигатели имеют ограниченное применение и используются для привода шаровых мельниц и компрессоров.

Основными видами повреждений являются многофазные короткие замыкания в обмотке статора, однофазные замыкания обмотки статора на землю, двойные замыкания на землю, замыкания части витков в одной фазе обмотки статора.

К ненормальным режимам следует отнести симметричные и несимметричные перегрузки, кратковременный перерыв в электроснабжении, работа при пониженном напряжении.

Защиты электродвигателей от междуфазных замыканий

Для защиты от *междуфазных коротких замыканий* применяют **токовую отсечку** и **дифференциальную защиту**. Токовая отсечка рекомендуется для защиты электродвигателей мощностью до 5000 кВт, если она обладает требуемой чувствительностью к повреждениям на выводах. При недостаточной чувствительности токовой отсечки необходимо применять дифференциальную защиту. Применение дифференциальной защиты целесообразно начиная, с мощности (3500 – 4000) кВт.

Токовая отсечка

Токовая отсечка для двигателей мощностью до 2000 кВт, за исключением электродвигателей собственных нужд электростанции, выполняется по однорелейной схеме (Рис.9,а). На электродвигателях мощностью (2000 – 4000) кВт токовая отсечка выполняется по двухрелейной схеме (Рис.9,б). Если коэффициент чувствительности однорелейной схемы окажется ниже двух, то следует использовать двухрелейную схему на двигателях мощностью до 2000 кВт. . Токовая отсечка может быть выполнена с использованием электромагнитного реле РТ-40 индукционного реле РТ-80 или реле на интегральных микросхемах в составе ЯРЭ-2201 .

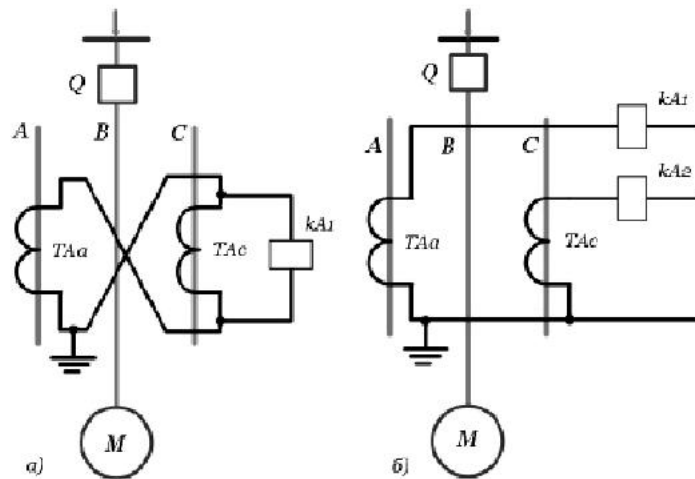


Рис.9 Схема токовой отсечки:

а - однорелейная, б - двухрелейная

Первичный ток срабатывания отсечки, устанавливаемой на асинхронных электродвигателях, отстраивается от пускового тока:

$$I_{сз} = kn \cdot I_{пск}, \quad 2.27$$

где kn — коэффициент надежности, учитывающий погрешности реле и расчета, в зависимости от типа реле может принимать значение от 1.4 до 2;

$I_{пск}$ - пусковой ток электродвигателя. тока /

Ток срабатывания реле отсечки

$$I_{ср} = \frac{k_H \cdot k_{сх} \cdot I_{пск}}{k_{ТТ}} \quad 2.28$$

$k_H = 1,8...2,0$ для реле РТ-80 (электромагнитный элемент), $k_H = 1,4... 1,5$ для реле РТ-40; $k_{сх}$ — коэффициент схемы, показывающий, во сколько раз ток в реле превышает вторичный ток ТТ при симметричном трехфазном режиме $k_{сх} = 1$ при соединении ТТ в полную или неполную «звезду», $k_{сх} = \sqrt{3}$ при всех других схемах соединения ТТ; $k_{ТТ}$ — коэффициент трансформации ТТ.

Учитывая, что двигатели напряжением 6 и 10 кВ работают в сети с незаземленной нейтралью (или заземленной через реактор), защиту выполняют двухфазной однорелейной или двухфазной двухрелейной. Для двигателей с $P_{ном} > 2000$ кВт двухфазное исполнение допускается только при наличии дополнительной защиты от замыканий па землю, в противном случае защиту двигателя выполняют трехфазной.

Чувствительность защиты оценивается по току двухфазного короткого замыкания на выводах двигателя в минимальном режиме работы системы. $k_{ч} \geq 2,0$.

Дифференциальная защита

На электродвигателях мощностью от 4000 кВт и более устанавливается продольная дифференциальная защита без торможения или с торможением.

Для выполнения защиты с торможением торможение выполняется от трансформаторов тока, установленных со стороны нулевых выводов обмотки статора. При таком включении торможение практически не оказывает влияния на рабочую м.д.с. и обеспечивает наилучшую чувствительность защиты.

Ток срабатывания защиты выбирается из условия надежного несрабатывания в режимах пуска, самозапуска, внешнего короткого замыкания или несинхронного включения синхронного двигателя. Ток срабатывания продольной дифференциальной защиты, в том числе и электродвигателя, должен отстраиваться от максимального тока небаланса $I_{НБ\text{ MAX}}$. Наибольшего значения ток небаланса достигает при пусках электродвигателя. Продольная дифференциальная РЗ обычно выполняется двухфазной с реле РНТ-565. Ток срабатывания РЗ, который должен быть отстроен по току небаланса $I_{НБ}$ при пуске электродвигателей, рекомендуется принимать равным $I_{сз} = 2I_{\text{дном}}$.

Защита от перегрузки устанавливается на электродвигателях, которые могут подвергаться перегрузке по технологическим причинам и для электродвигателей с особо тяжелыми условиями пуска и самозапуска с длительностью прямого пуска от 20 сек. и более.

Для защиты двигателей от перегрузки предусматривают максимальную токовую защиту, которая может быть одно- или двухфазной, но, как правило, однорелейной. Защита от перегрузки выполняется с действием на отключение при возможности неуспешного пуска, невозможности разгрузки без останова двигателя, отсутствии постоянного дежурного персонала. При возможности автоматической разгрузки защиты выполняются с двумя выдержками времени, с меньшей - на разгрузку механизма, с большей - на отключение. В остальных случаях предусматривается действие на сигнал.

Ток срабатывания защиты от перегрузки выбирается по условию отстройки от номинального тока электродвигателей.

$$I_{сз} = \frac{k_H \cdot I_{\text{ДВНОМ}}}{k_B} \quad 2.29$$

$$I_{ср} = \frac{k_{\text{ОТС}} \cdot k_{\text{сх}} \cdot I_{\text{ДВНОМ}}}{k_B \cdot k_{\text{ТТ}}} \quad 2.30$$

где $k_H = 1,1 \dots 1,2$ для РЗ, действующей на сигнал, $k_H = 1,5 \dots 1,75$ для РЗ, действующей на отключение; k_B — коэффициент возврата.

Чувствительность защиты от перегрузки не проверяется, поскольку она не предназначена для действия при коротком. замыкании. Выдержка времени выбирается из условия надежного несрабатывания при пуске или самозапуске двигателей по выражению

$$t_{сз} = k_{\text{омс}} \cdot t_n, \quad 2.31$$

где $k_{\text{омс}} = 1.2 \dots 1.3$; t_n - время пуска электродвигателей.

Защита электродвигателей от однофазных замыканий обмотки статора на землю

К наиболее частым повреждениям двигателей напряжением свыше 1 кВ относится замыкание одной фазы обмотки статора на корпус (землю). Длительное протекание тока однофазного замыкания на землю не допускается, так как обычно сопровождается горением дуги в месте замыкания и может привести к выплавлению стали статора.

В соответствии с ПУЭ защита от замыканий на землю в обмотке статора с действием на отключение должна устанавливаться на электродвигателях мощностью 2000 кВт и более при токах замыкания на землю более 5 А, а на электродвигателях меньшей мощности — при токах замыкания на землю более 10 А. Однако в эксплуатации при токах

замыкания на землю более 5 А защиту от замыканий на землю часто устанавливают на электродвигателях любой мощности для предотвращения их повреждений при замыканиях на землю.

Для защиты двигателей напряжением свыше 1 кВ от однофазных замыканий обмотки статора на землю применяют максимальную токовую защиту нулевой последовательности. Защита электродвигателей от замыканий на землю реагирует на емкостный ток сети и выполняется в сетях с изолированной нейтралью с помощью одного токового реле. Реле подключается ко вторичной обмотке кабельного ТТ, стальной магнитопровод которого охватывает трехфазный кабель, питающий электродвигатель

В настоящее время для релейной защиты электродвигателей применяются микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики. Например широкое применение получило комплектное устройство защиты и автоматики асинхронного двигателя 6-10 кВ SPAC 802-01. Устройство (терминал) SPAC 802-01 предназначено для выполнения необходимых функций по защите, автоматике, управлению и сигнализации комплектного распределительного устройства асинхронного электродвигателя напряжением 6—10 кВ. Оно может быть включено в систему верхнего уровня АСУТП. При этом имеется возможность передавать замеренные величины, параметры аварийных режимов, значения уставок, информацию о состоянии оборудования на местные или удаленные диспетчерские пункты, а также производить дистанционное управление объектом, автоматическое повторное включение, блокировку от многократных включений электродвигателя и формирование сигнала УРОВ при отказе выключателя. В состав устройства SPAC802-01 входят следующие блоки: блок входных трансформаторов; измерительный блок; блок входов; блок управления; блок выходов; блок питания. устройства SPAC802-01

Комплектное устройство защиты и автоматики синхронного двигателя 6—10 кВ SPAC803-01 отличается от рассмотренного SPAC802-01 наличием модуля SPCD3D53, выполняющего функции двухступенчатой трехфазовой продольной дифференциальной защиты. Она, как и дифференциальная защита трансформатора обладает свойством программного уравнивания номинальных вторичных токов ее плеч и имеет блокировку по второй и пятой гармоническим.

Первая ступень — дифференциальная отсечка. Ее уставки тока срабатывания регулируются в пределах $3\Delta I_{>>>} = (5...30) I_{\text{дном}}$. Вторая ступень — дифференциальная защита с торможением. Ее начальный ток срабатывания (торможение отсутствует) может устанавливаться равным $3\Delta I_{>>>} = (0,05...0,5) I_{\text{дном}}$. Время срабатывания защиты — не более 40 мс. Устройство SPCD3D53 можно использовать и для защиты и автоматики асинхронных электродвигателей.

Защита электродвигателей до 1кВ

Асинхронные двигатели низкого напряжения защищают от многофазных, а в случае заземленной нейтрали — и от однофазных КЗ, перегрузок, если они возможны по условиям эксплуатации или исходя из характеристики приводимого механизма, понижения напряжения, если самозапуск двигателей недопустим или нежелателен.

Асинхронные двигатели напряжением до 1 кВ защищают плавкими предохранителями, автоматическими выключателями, тепловыми реле магнитных пускателей.

Защиту двигателя от КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью выполняют трехфазной (от междуфазных КЗ и однофазных КЗ на землю). Защиту двигателя от КЗ плавкими предохранителями выполняют, как правило, отдельно для каждого двигателя. Выбор предохранителей и их плавких вставок производится так же, как и для двигателей высокого напряжения.

Автоматические выключатели позволяют осуществить все виды защит:

- от КЗ — электромагнитными или полупроводниковыми расцепителями;
- от перегрузки — электротепловыми расцепителями;
- от снижения напряжения — расцепителями минимального напряжения.

Защита двигателей от КЗ может выполняться в виде ТО с помощью максимальных реле тока типа РЭВ (РЭВ-200, РЭВ-750 и др.). От перегрузки двигателей предусмотрены токовая защита, реагирующая на возрастание тока, а также температурная защита. Токовая защита выполняется с помощью электромеханических, полупроводниковых или электротепловых реле. Защита двигателей от перегрузки не должна срабатывать при кратковременных перегрузках, поэтому она имеет выдержку времени и может действовать на отключение, на сигнал или на разгрузку механизма, приводимого двигателем.

Защиту от перегрузки устанавливают в тех случаях, когда имеет место технологическая перегрузка либо когда необходимо ограничить длительность пуска или самозапуска двигателей при пониженном напряжении.

Условия выбора тока срабатывания электромагнитных реле тока:

$$I_{CP} = \frac{k_{OTS} \cdot k_{ex} \cdot I_{ДВНОМ}}{k_B k_{TT}} \quad 2.32$$

Ток срабатывания токовой отсечки выбирают, как и для электродвигателей напряжением выше 1 кВ, по условию 2.28

$$I_{CP} = \frac{k_H \cdot k_{ex} \cdot I_{ПСК}}{k_{TT}} \quad 2.33$$

Ток уставки $I_{уст}$ электромагнитного расцепителя, с помощью которого осуществляется защита от КЗ, определяется по выражению:

$$I_{уст} \geq K_P \cdot K_H \cdot I_{II} \quad 2.34$$

При этом коэффициент отстройки K_H для электромагнитного расцепителя принимают $K_H = 2$, для полупроводниковых расцепителей $K_H = 1,5$, K_P — коэффициент разброса срабатывания электромагнитных расцепителей принимают $K_P = 1,15—1,2$; При коротких замыканиях на выводах электродвигателя отсечка должна иметь необходимую чувствительность. Допускается

$K_{ч} > 1,4...1,5$. Если чувствительность к однофазным КЗ оказывается недостаточной, то рекомендуется предусматривать специальную защиту с помощью выносных реле.

Уставка тока мгновенного срабатывания (отсечка), кратная номинальному току автоматического выключателя (расчетная кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя), определяется из выражения:

$$K_{уст} = \frac{I_{уст}}{I_{НОМ}} \quad (2.35)$$

где $I_{ном}$ — номинальный ток автоматического выключателя.

За действительную уставку отсечки $k_{уст.д}$ принимается ближайшее большее значение по паспортным данным соответствующего автоматического выключателя. При этом действительный ток срабатывания электромагнитного расцепителя будет равен:

$$I_{уст.д} \geq K_{уст.д} \cdot I_{ном}$$

Защита от перегрузки полупроводниковыми расцепителями автоматических выключателей. Они используются при подключении электродвигателя к сети через автоматический выключатель. Ток срабатывания защиты определяется номинальным током расцепителя

$$I_{уст} \geq K_p \cdot K_H \cdot I_H$$

где K_p — 1,1; K_H принимается равным: 1 — 1,1—1,3

При этом защита считается эффективной, если

$$I_{с.з}^{III} \leq (1,2...1,4)I_{д.ном}$$

Для настраиваемых реле одной из характеристик является номинальный ток уставки $I_{у.ном}$. Это наибольший длительный ток, который при данной настройке реле не вызывает его срабатывания. Для таких реле должно соблюдаться условие

$$I_{у.ном} \geq I_{нг.ном} \approx I_{д.ном}/K_f$$

При коротком замыкании нагреватель реле может перегореть раньше, чем реле отключит электродвигатель, поэтому в большинстве случаев защита с электротепловыми реле устанавливается только при наличии быстродействующей защиты от коротких замыканий, например плавких предохранителей. Необходимо отметить, что защитные характеристики тепловых расцепителей автоматических выключателей и электротепловых реле плохо согласуются с тепловой перегрузочной характеристикой электродвигателя. Они не позволяют полностью использовать его перегрузочную способность. Существенным недостатком этих реле является недостаточная стабильность параметров срабатывания в процессе эксплуатации, связанная с изменением структуры материала биметаллического элемента в результате многократного воздействия токов перегрузки и токов КЗ.

Вопросы для обязательной контрольной работы №2

Вариант 1

Перечислите основные виды защит, устанавливаемых на трансформаторах в зависимости от их мощности.

Вариант 2

На какие виды повреждения и ненормальных режимов реагирует газовая защита?

Вариант 3

Как соединяются вторичные обмотки трансформаторов тока дифференциальной защиты трансформатора с группой соединения 11?

Вариант 4

Как предотвращается неправильное действие дифференциальной защиты при броске тока намагничивания?

Вариант 5

Объясните все причины появления тока небаланса в дифференциальной защите трансформатора.

Вариант 6

В каких случаях на трансформаторах можно устанавливать дифференциальную отсечку, и чем она отличается от дифференциальной защиты с реле типа РНТ?

Вариант 7

Когда применяются для защиты трансформаторов от к.з. токовые отсечки?

Вариант 8

Дайте описание конструкции полупроводникового реле направления мощности типа РМ-11

Вариант 9

Назовите схемы включения реле направления мощности.

Вариант 10

Дайте описание назначению устройству и особенностям конструкции электромеханических и полупроводниковых реле времени .

Вариант 11

Опишите принцип действия токовой отсечки на линиях с односторонним питанием. Приведите расчетные формулы для определения тока срабатывания защиты . поясните как формируется зона зашиты и дать оценку се эффективности.

Вариант 12

Опишите принцип действия токовой отсечки на линиях с двухсторонним питанием. Приведите расчетные формулы для определения тока срабатывания защиты . поясните как формируется зона зашиты и дать оценку ее эффективности.

Вариант 13

Опишите принцип действия направленной максимальной токовой защиты. Назовите основные органы зашиты и дать им характеристику и объясните назначение отдельных реле и их взаимодействие для схемы направленной максимальной токовой зашиты

Вариант 14

В каких случаях для защиты конденсаторных установок от однофазных замыканий на землю применяется МТЗ нулевой последовательности?

Вариант 15

Каким образом производится автоматическое регулирование напряжения с помощью конденсаторных батарей?

Вариант 15

Перечислите способы выполнения защиты шин

Вариант 16

Почему в реактированных линиях, отходящих от генераторного напряжения ТЭЦ, не устанавливаются трансформаторы тока для дифференциальной защиты шин?

Вариант 17

Каким образом производится АПВ сборных шин

Вариант 18

От каких видов повреждений и ненормальных режимов генератора устанавливается релейная защита?

Вариант 19 Почему защита статора от замыканий на землю выводится из действия при внешних КЗ?

Вариант 20

Как выбирается ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты генератора, и какие типы реле применяются?

Вариант 21

На каких генераторах применяется поперечная дифференциальная защита и ее принцип действия?

Вариант 22

При каких значениях тока замыкания на землю защита от замыканий на землю должна действовать на отключение.

Вариант 23

Объясните принцип действия трансформатора тока с подмагничиванием.

Вариант 24

Объясните принцип действия и назначение токовой защиты обратной последовательности.

Вариант 25

Как работает защита от сверхтоков с комбинированной блокировкой по напряжению?

Вариант 26

Как работает защита от замыканий на землю во второй точке цепи возбуждения'⁷

Вариант 27

Почему для автоматического регулирования возбуждения не может быть применено компаундирование без электромагнитного корректора? Составьте структурную схему АРВ.

Вариант 28

Объясните назначение и принцип действия релейной форсировки возбуждения.

Литература

- 1 В.Н.Копьев Релейная защита «Издательство Томского политехнического университета», 2009
- 2 Э.А. Киреева, С.А. Цырук «Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем». Академия 2010г.
- 3Чернобровов Н.В. Семенов В.А. «Релейная защита энергосистем». Энергия. 2007г.
- 4 Беркович М. Д., Молчанов В. В., Семенов В. А. «Основы техники релейной защиты». Энергоатомиздат. 1984г
- 5 Овчаренко Н.Н. «Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем» НЦ ЭНАС 2001г.
- 6 Беркович М. А., Гладышев В. А., Семенов В. А «Автоматика энергосистем». Энергоатомиздат. 1985г
- 7 Федосеев А. М. « Релейная защита электроэнергетических систем » .Энергоатомиздат. 1989г.
- 8 А. Л. Соловьев «Выбор характеристики уставок защиты электрооборудования с использованием микропроцессорных терминалов» НТФ "Энергопрогресс", "Энергетик" 2008 г
- 9 Э.И.Басс,В.Г.Дорогунцев «Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем» МЭИ,2002 г
- 10 Барзам А. В., Пояркова Т. М. «Лабораторные работы по релейной защите и автоматике». Энергоатомиздат.1984г